

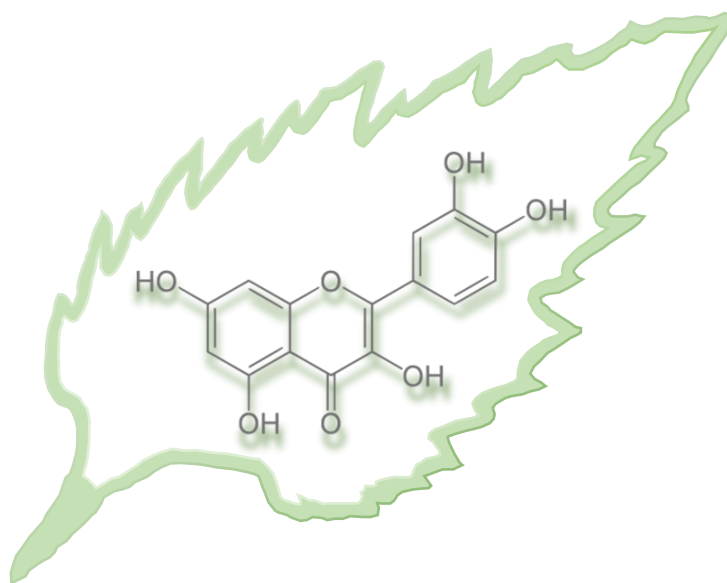
**ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ  
им. К.А.ТИМИРЯЗЕВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



# **МАТЕРИАЛЫ**

**XI МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА  
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ:  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ  
АСПЕКТЫ**

**Москва, 11 – 15 апреля 2022 года**



Москва, 2022 г.

УДК 581.198(063)  
ББК 28.572.517я431  
Ф42

Издается по решению  
Ученого совета ИФР РАН

Редакционная коллегия:  
*Д.А. Лось, Н.В. Загоскина, В.А. Куркин, П.В. Лапшин*

**Ф42 Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты:**  
материалы докладов XI международного симпозиума (Москва, 11–15  
апреля 2022 г). М.: ИФР РАН, 2022. – М.: Издательство «Перо», 2022.  
– 250 с. – 3,6 Мбайт. [Электронное издание]

ISBN 978-5-00204-153-4

В сборнике представлены материалы докладов XI международного симпозиума «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты» (Москва, 11–15 апреля 2022 г.). Отражены основные исследования по изучению структуры фенольных соединений, их физико-химических свойств, активности и распространения в растениях. Рассмотрены различные аспекты изучения полифенолов, регуляции их образования и распределения в клетках и тканях растений. Приводятся данные об их роли в растительной экофизиологии (биотические и абиотические стрессы, патогенез, устойчивость, сигналинг). Сообщается об участии генов, регулирующих направленность биосинтеза определенных классов фенольных соединений. Значительное внимание уделено инновационным направлениям использования фенольных соединений, в том числе в фармакологии и медицине.

Издание представляет интерес для широкого круга специалистов по физико-химической биологии, химии, физиологии и биохимии растений, молекулярной биологии, биотехнологии, фармакогнозии, агротехнологии и защиты растений.

*Материалы публикуются в авторской редакции с согласия авторов.*

УДК 581.198(063)  
ББК 28.572.517я431

ISBN 978-5-00204-153-4

© Коллектив авторов, 2022  
© Институт физиологии растений  
им. К.А. Тимирязева РАН, 2022

---

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Лось Д.А.**, д.б.н., член-корр. РАН (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) – **председатель**
- Загоскина Н.В.**, д.б.н., проф. (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) – **сопредседатель**
- Булгаков В.П.**, д.б.н., член-корр. РАН (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия)
- Куркин В.А.**, д.ф.н., проф. (Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия)
- Ламан Н.А.**, д.б.н., академик НАН Беларуси (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь)
- Маммадов Р.**, д.б.н., профессор (Университет Памуккале, Денизли, Турция)
- Носов А.В.**, д.б.н. (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия)
- Носов А.М.**, д.б.н., проф. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия)
- Осипов В.И.**, д.б.н. (Университет Турку, Турку, Финляндия; Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия)
- Тюкавкина Н.А.**, д.х.н., проф. (Сеченовский университет, Москва, Россия)
- Хлесткина Е.К.**, д.б.н., проф. РАН (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия)
- Храмова Е.П.**, д.б.н. (Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия)
- Лапшин П.В.**, к.б.н. (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) – **ученый секретарь**
- Аксенова М.А.** (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) – **секретарь**

## ПРОГРАММНЫЙ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ

<b>Лось Д.А.</b> , д.б.н., член-корр. РАН	<b>Антипина О.В.</b> , к.б.н.
<b>Загоскина Н.В.</b> , д.б.н., проф.	<b>Гончарук Е.А.</b> , к.б.н.
<b>Куркин В.А.</b> , д.ф.н., проф.	<b>Зубова М.Ю.</b>
<b>Носов А.В.</b> , д.б.н.	<b>Казанцева В.В.</b> , к.б.н.
<b>Носов А.М.</b> , д.б.н., проф.	<b>Катанская В.М.</b> , к.б.н.
<b>Тюкавкина Н.А.</b> , д.х.н., проф.	<b>Нечаева Т.Л.</b>
<b>Храмова Е.П.</b> , д.б.н.	<b>Николаева Т.Н.</b>
<b>Лапшин П.В.</b> , к.б.н.	<b>Родионова М.В.</b> , к.б.н.
<b>Аксенова М.А.</b>	<b>Цыпурская Е.В.</b>

---

## ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ СБОРНИКА

Предисловие.....	стр. 4
Пленарные доклады.....	стр. 6
Раздел 1. Фенольные соединения: структура, физико-химические свойства, реакционная способность.....	стр. 10
Раздел 2. Методы выделения и определения фенольных соединений.....	стр. 48
Раздел 3. Фенольные соединения в жизни растений: состав, распространение, функциональная роль.....	стр. 67
Раздел 4. Фенольные соединения: медико-биологические и фармацевтические аспекты применения.....	стр. 174
Содержание.....	стр. 227
Именной указатель.....	стр. 244

*Список работ, входящих в разделы сборника, расположен в конце*

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проводимый в 2022 г. XI Международный симпозиум «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты» является очередным в серии этих традиционных научных мероприятий по проблемам физиологии, биохимии и химии фенольных соединений, история которых насчитывает уже более 60 лет. Первый Всесоюзный симпозиум по фенольным соединениям был организован академиком А.Л. Курсановым и проф. М.Н. Запрометовым и проведен в 1966 г. в Москве в Институте физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР. Его целью являлось объединение химиков, биологов, физиологов, технологов, фармакологов и клиницистов, работающих в этой быстро развивающейся и нужной для государства области науки. Аналогичные цели важны для ученых и практиков на современном этапе развития России.

2022 год – это год 300-летия создания Российской академии наук, которая внесла большой вклад в формирование нашего государства, его развитие, получение новых знаний и их использование в различных отраслях народного хозяйства. Это касается и таких уникальных растительных метаболитов, как фенольные соединения, которые чрезвычайно разнообразны по структуре и свойствам. Они участвуют в процессах дыхания, фотосинтеза, формирования клеточных стенок, трансдукции энергии света, адаптации и защиты растений от многих стрессовых воздействий. Фенольные соединения успешно используются как вещества-антиоксиданты в пищевой промышленности, косметологии, получении продуктов-нутриентов. Они важны при селекции новых сельскохозяйственных культур, создании фармакологически-ценных препаратов, разработке биотехнологических процессов для получения ценных растительных культур в условиях *in vitro* и других научно-технологических направлениях. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в изучении структуры фенольных соединений, их накопления и распределения в тканях и органах растений, биологической активности, участия в регуляции различных процессов, до сих пор остается «неразгаданной» функциональная значимость огромного разнообразия этих вторичных метаболитов.

В настоящем издании представлены материалы исследований по основным направлениям физиологии и биохимии фенольного метаболизма, химии фенольных соединений, биологической активности этих веществ, а также медико-биологическим и технологическим аспектам применения полифенолов, полученные как ведущими, так и молодыми учеными, аспирантами и студентами. Большинство из них являются новыми, современными, отражающими уровень и состояние фундаментальных и прикладных исследований в области фенольного метаболизма, а также практического применения этих природных веществ.

*д.биол.н., проф. Н.В. Загоскина*

*д.фарм.н., проф. В.А. Куркин*

---

# **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

---

## ФЕНОЛОМ РАСТЕНИЙ И ЕГО РЕГУЛЯЦИЯ

Загоскина Н.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, nzagoskina@mail.ru

Фенольные соединения (ФС) относятся к одним из наиболее распространенных в растениях представителям вторичного метаболизма, образование которых характерно для всех их клеток и тканей. Они чрезвычайно разнообразны по структуре и свойствам. В настоящее время растительный фенолом представлен более чем 10000 соединений, число которых продолжает увеличиваться, что обусловлено новыми методическими возможностями для их идентификации (капиллярный электрофорез, высокоэффективная жидкостная хроматография, масс-спектрометрия и другие).

ФС участвуют в жизнедеятельности растений на протяжении всей их жизни. Они могут защитить растения от болезней/патогенов, хищников, растений-конкурентов или абиотических стрессов (температура, дефицит воды, УФ-свет, токсичные металлы), а также облегчают взаимодействие с полезными или симбиотическими организмами необходимыми для питания или размножения растений. Эти специализированные метаболиты рассматривают как фитоалексины и антибиотики в ответ на действие микробиома, антифиданты против травоядных и/или в качестве сигнальных молекул для привлечения насекомых-опылителей. Все это является следствием структурного разнообразия компонентов фенолома растений, многие из которых присутствуют не только в «свободном», но и «связанном» (гликозиды, ацилированные и метоксилированные формы, конъюгаты с другими растительными метаболитами и т.п.) состоянии.

Интерес к изучению ФС в значительной степени обусловлен их способностью взаимодействовать с активными формами кислорода, тем самым способствуя поддержанию окислительно-восстановительного баланса в клетках растений, что наиболее важно в условиях действия стрессовых факторов. Это свойство растительных ФС сохраняется и при их поступлении в организм человека, благодаря чему листья, семена, корни, цветки и плоды успешно используются в пище в качестве растительных биоантиоксидантов. Известно и широкое применение ФС при лечении заболеваний человека различной этиологии в качестве капилляроукрепляющих, противовирусных, онко-ингибирующих, антиоксидантных веществ. Известно и их защитное действие от COVID-19.

Все это служит основой для поиска фенол-накапливающих растений, их сохранения и размножения (в том числе в условиях *in vitro*). Большое внимание уделяется подбору факторов и условий, способствующих активации биосинтеза ФС или его «отдельных» путей; оценке антиоксидантной активности экстрактов, получаемых из различных органов растений и другие. Успешно развиваются исследования по регуляции накопления ФС в клетках и тканях растений в условиях светового воздействия, влияния УФ-лучей, температуры, минерального питания, гормонов, элиситации (способ обработки, длительность, концентрация вещества). Исследуется экспрессия генов фенилпропаноидного и флавоноидного путей биосинтеза ФС. Разрабатываются технологии получения микрозелени, обогащенной этими специализированными метаболитами, в качестве функционального продукта питания человека.

Все это свидетельствует о важной и разнообразной роли ФС в жизнедеятельности растений и использовании этих специализированных метаболитов для поддержания и укрепления здоровья населения на нашей планете.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).*

---

## **ФЕНОЛЬНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КАК КРИТЕРИЙ ПОДЛИННОСТИ И КАЧЕСТВА ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРЕПАРАТОВ**

**Куркин В.А.**

ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Самара  
v.a.kurkin@samsmu.ru

На примере 107 видов ЛРС, включенных в Государственную фармакопею Российской Федерации XIV издания [1], прослеживается тенденция к использованию методологического подхода, заключающегося в оценке качества лекарственного растительного сырья (ЛРС) и лекарственных растительных препаратов (ЛРП), как правило, не по одной, а по нескольким группам биологически активных соединений (БАС).

В настоящей работе рассматривается значимость фенольных соединений как критерия подлинности и качества сырья фармакопейных растений.

Определено, что из 107 видов ЛРС, включенных в ГФ РФ XIV издания [1], в 40 видах сырья анализируются флавоноиды (качественный и/или количественный анализ). Особенно ярко это проявляется в случае анализа ЛРС, содержащего в качестве БАС флавоноиды и эфирные масла [2, 3], причем с использованием ТСХ, ВЭЖХ, газовой хроматографии и спектрофотометрии [1]. Это важно в том отношении, что в случае получения экстракционных препаратов (настой, настойка, экстракты) из эфиромасличного сырья имеет место определение не только эфирного масла, но и таких групп действующих веществ, как флавоноиды, фенилпропаноиды, дубильные вещества, которые также вносят вклад в проявление фармакологических свойств. Данный методологический подход соответствует современной мировой тенденции, предполагающей использование в методиках качественного и количественного анализа определение 2-3 групп БАС, имеющих диагностическое значение. В основном успешно решены проблемы стандартизации ЛРС, содержащего фенилпропаноиды, введенные нами в фармакогнозию в качестве самостоятельной группы БАС, причем с использованием таких стандартных образцов, как розавин (родиолы розовой корневища и корни), сирингин, или элеутерозид В (элеутерококка колючего корневища и корни), силибин (расторопши пятнистой плоды), цикориевая кислота (эхинацеи пурпурной трава). Однако на фоне достигнутых успехов существует еще целый ряд нерешенных проблем. Одной из противоречивых проблем является стандартизация ЛРС, содержащего антраценпроизводные. Дело в том, что в настоящее время анализ коры крушины ольховидной, листьев видов кассии, листьев и побегов алоэ древовидного, корневищ марены красильной, содержащих антраценпроизводные, осуществляется с использованием многостадийных методик. На наш взгляд, для целей стандартизации вышеперечисленных видов сырья заслуживает внимания опыт, реализованный для таких видов сырья, как щавеля конского корни, жостера слабительного плоды, ревеня дланевидного корни, в случае которых из методик анализа исключены кислотный гидролиз, окисление антрагликозидов, жидкость-жидкостная экстракция [1].

Таким образом, в результате проведенных исследований обоснованы новые методологические подходы к стандартизации ЛРС и ЛРП, содержащих фенольные соединения, с использованием ТСХ, ВЭЖХ, спектрофотометрии и соответствующих стандартных образцов.

### Литература:

1. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV издания. - Т. 4. - М., 2018. - 1833 с.
2. Куркин В. А. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических вузов (факультетов), изд. 5-е, перераб. и доп. - Самара: ООО «Полиграфическое объединение «Стандарт»; ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 2020. - 1278 с.
3. Куркина АВ. Флавоноиды фармакопейных растений: Монография. - Самара: ООО «Офорт»; ГБОУ ВПО СамГМУ Минздравсоцразвития России, 2012. – 260 с.



---

## ЗАГАДОЧНЫЕ МЕЛАНИНЫ: ОТ МИКРООРГАНИЗМОВ ДО ЭЛЕКТРОНИКИ

Минибаева Ф.В.

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, minibayeva@kibb.knc.ru

Меланины (от греческого *Melano*, что означает темный или черный) представляют собой структурно-сложные темные пигменты, характерные для представителей всех биологических царств. Несмотря на природную универсальность, это одни из наиболее загадочных биополимеров биосферы. Естественные меланины являются гетерогенными полимерами, образующимися в результате окисления фенольных/индольных предшественников и последующей полимеризации промежуточных фенолов и хинонов. В зависимости от структуры, элементного состава и источника меланины подразделяются на различные типы, такие как эумеланин, феомеланин, нейромеланин, алломеланин и пиомеланин. Эти пигменты выполняют разнообразные функции, такие как тушение свободных радикалов, защита от светового стресса, перенос энергии, терморегуляция, хелатирование металлов, камуфляж, иммунный ответ и вирулентность.

В некоторых случаях эти пигменты, словно обоюдоострый меч, могут проявлять как защитные, так и токсичные свойства, в связи с чем иногда необходимо ингибирование меланогенеза. Недавние исследования продемонстрировали, что небольшие вариации в структуре мономера меланина могут вызвать значительные изменения в их физико-химических характеристиках, антиоксидантных свойствах, хелатирующей активности, а также влиять на морфологию естественных меланиновых гранул. Микроструктура меланинов довольно подробно изучена для некоторых патогенных грибов и меланосом человека, информация о структуре и физико-химических свойствах меланинов фотосинтетических организмов чрезвычайно ограничена. Особый интерес представляют свойства, морфология и функции меланинов экстремофильных организмов, в том числе лишайников.

Лишайники – симбиотические организмы, образованные в результате взаимовыгодного альянса гриба (микобионт) и водоросли/цианобактерий (фотобионт). Они выживают в условиях экстремальных температур, обезвоживания, УФ облучения. Для лишайников формирование меланинового слоя на поверхности таллома в ответ на УФ воздействие является одним из ключевых механизмов их высокой устойчивости не только к избыточному освещению, но и обезвоживанию. Связывание молекул воды с гидрофобным меланином зависит от активности специфических функциональных групп в структуре этого полимера, элементного состава, присутствия других хелатированных соединений, например полисахаридов, и ультраструктуры меланиновых частиц.

Уникальные свойства меланина делают этот естественный полимер перспективным объектом для фундаментальных и прикладных исследований, в частности, для развития так называемой «зеленой электроники», применения в медицине, биотехнологии и ремедиации.

*Работа проводится в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН, а также при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-14-00198 (анализ меланинов лишайников).*

---

## **РАЗДЕЛ 1**

# **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: СТРУКТУРА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ**

# ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ РЕГРЕССИОННО-КЛАССИФИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА СКРИНИНГА АНТИРАДИКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ФЛАВОНОИДОВ И ГИДРОКСИАЦЕТОФЕНОНОВ В СРЕДЕ С ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ pH

Белая Н.И., Белый А.В.

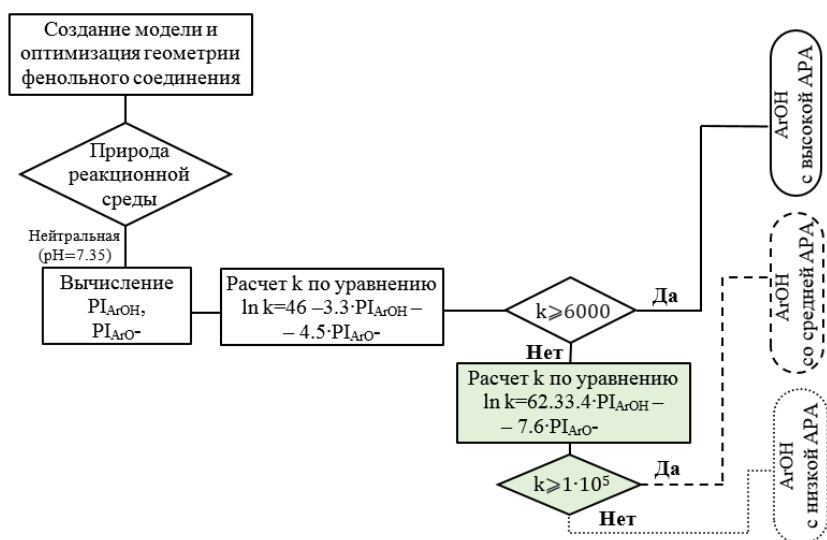
ГОУ ВПО Донецкий национальный университет, Донецк, ДНР, nat.iv.belaya@gmail.com

Флавоноиды и гидроксиацетофеноны (как вещества, моделирующие структурные фрагменты флавоноидов) относятся к группам природных соединений, способных проявлять антирадикальную активность (АРА). Из-за широкой распространенности флавоноидов в пищевой, фармацевтической и парфюмерной продукции на растительной основе, возникает необходимость в отработке системы оценки и прогнозирования их реакционной способности, что позволит как «отсеивать» вещества с нежелательными свойствами на ранних этапах доклинических исследований, так и проводить поиск новых антиоксидантов природного происхождения.

Цель работы – создание прогностической регрессионно-классификационной системы скрининга антирадикальной активности флавоноидов и гидроксиацетофенонов (ArOH) (16 соединений) на основе исследования кинетики их реакции с 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразильными (DPPH<sup>•</sup>) и 2-амидинопропан-2-пероксильными (APOO<sup>•</sup>) радикалами в среде с физиологическим pH и формирования системы двухфакторных регрессий «дескриптор – активность».

Определение констант скоростей  $k$  (как параметра АРА) реакций ArOH с указанными свободными радикалами проводилось в фосфатном буфере при физиологическом pH = 7,35 методами фотоколориметрии и хемилюминесценции. Неэмпирический этап разработки прогностической модели был направлен на выбор молекулярных дескрипторов ArOH, связанных с лимитирующей стадией механизма реакции. В нейтральной среде с pH = 7,35, где в реакции с радикалами участвуют как молекулы фенола, так и фенолят-ионы в качестве таких дескрипторов выступают их потенциалы ионизации ( $PI_{ArOH}$ ,  $PI_{ArO^-}$ ), рассчитанные методом DFT B3LYP/6-311++G(d,p) с использованием программного пакета Gaussian 09. Влияние

растворителя (воды) учитывалось в рамках модели поляризуемого континуума (PCM). Согласно предложенной системе скрининга, вначале проводится неэмпирический расчет химической структуры соединений. Затем по вычисленному механизму-зависимому дескриптору с помощью уравнений регрессии прогнозируется константа скорости реакции с различными радикалами. На первом этапе оценки применяется уравнение



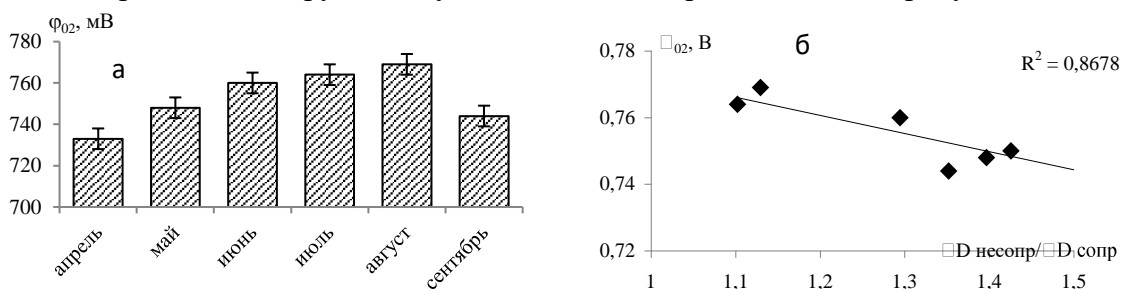
для расчета константы скорости реакции ArOH с DPPH<sup>•</sup>. Если прогнозируемая величина константы больше, чем у эталонного АО тролокса (Tx), то исследуемое соединение относится к группе веществ с высокой активностью, если меньше, то антирадикальные свойства оставшихся соединений проверяются с APOO<sup>•</sup> и по результатам сравнения с Tx флавоноиды и гидроксиацетофеноны разбиваются еще на две группы – вещества со средней и низкой АРА.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕДОКС-СОСТОЯНИЯ ФРАКЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

Боголицын К.Г., Гусакова М.А., Хвиюзов С.С., Елисеева И.С., Самсонова Н.А.  
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск, gavrilova.iepn@yandex.ru

Хвоя является ассимиляционным органом растений, в котором происходит биосинтез метаболитов, расходуемых на построение вегетативной массы растения. Фракция фенольных соединений является активным участником происходящих редокс-процессов в растительной ткани. В связи с этим, целью исследования является разработка методического подхода количественной оценки их окислительно-восстановительных свойств методом косвенной редокс-метрии. В качестве биобъекта выбрана хвоя сосны обыкновенной *Pinus silvestris*, отобранная с деревьев возрастом 70-80 лет, на территории Архангельской области вне зоны антропогенного влияния.

В процессе жизненного цикла растений происходит непрерывная функциональная трансформация фенольных соединений с образованием системы несопряженных и, формирующихся при их окислении, сопряженных (содержащих карбонильную группу) фенольных форм. Их относительное содержание было определено методом дифференциальной УФ-спектроскопии в спиртовых экстрактах с концентрацией хвои 10 г/л. Общее содержание фенольных соединений определено спектрофотометрическим методом Фолина-Дениса. Для определения величины эффективного окислительного потенциала использован метод косвенной редоксметрии. В качестве редокс-системы выбрана окислительно-восстановительная система  $K_3[Fe(CN)_6] - K_4[Fe(CN)_6]$  соотношением  $10^{-3}/10^{-4}M$ , которая в щелочной среде способна к окислению только фенольных гидроксильных групп, полученные данные представлены на рисунке 1.



а – сезонная динамика;

б – зависимость от соотношения сопряженных и несопряженных фенольных структур

Рисунок 1. Изменения величины эффективного окислительного потенциала.

Значения эффективного окислительного потенциала 730-770 мВ фракции фенольных соединений характерны преимущественно для низкомолекулярных несопряженных фенолов. Наибольшее изменение значений  $\Phi_{02}$  и, как следствие, наибольшая активность фенольных соединений в редокс-процессах отмечена в начальный и конечный период вегетации, что связано с интенсификацией процессов биосинтеза лигнинного полимера. Нами установлено наличие выраженной линейной зависимости снижения значений  $\Phi_{02}$  с увеличением доли несопряженных структур, обладающих высокой реакционной способностью в редокс-процессах как в процессах биосинтеза – ферментативной окислительной полимеризации, приводящей к формированию высокомолекулярного лигнинного полимера, так и в редокс-превращениях с образованием фракции экстрактивных веществ.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН 2022-2024 г. «Физико-химические основы селективных методов выделения, характеристики и применение биологически активных комплексов растительных объектов высоких широт для решения задач экологического контроля и здоровьесбережения» (№122011700252-1) ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).

---

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГИДРОФОБНЫХ ФЛАВОНОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ФЛАВОНОИДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н., Рубцов М.В.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж  
za.bolotova@mail.ru

Среди природных полифенолов в растительном мире широко распространены флавоноидные соединения в виде флавонолов и антоцианов.

Наличие в структуре молекул природных флавоноидов полифенольного фрагмента (агликона) с фенольными гидроксилами и ауксохромофорной группы придает этим веществам антиоксидантную активность и свойства природных красителей, а поэтому биофлавоноиды широко применяются в качестве пищевых добавок при производстве многих продуктов питания.

Присутствие в молекулах природных флавоноидов высокополярных углеводных остатков с большим количеством гидроксильных групп придает полифенолам высокие гидрофильные свойства и хорошую растворимость в воде и низших алифатических спиртах, что и определяет их функциональные свойства и области применения.

Нами проводятся исследования по расширению возможностей применения флавоноидных соединений.

Анализ химической структуры молекул природных флавоноидов показывает, что расщепление гликозидной связи реакцией гидролиза позволяет получать полифенольные агликоны с меньшей степенью гидрофильности, а поэтому лучше растворяющиеся в менее полярных растворителях.

Выполненный расчет гидрофильно-гидрофобных свойств молекул флавоноидов для гликозидированной структуры и агликона по величине расчетного коэффициента межфазного распределения ( $C_{logP}$ ) указанных полифенолов в системе бутанол-вода показывает на более высокие гидрофобные свойства флавоноид-агликонов по сравнению с природными гликозидированными структурами (цианидин-3-глюкозид - -0,01; цианидин-1,76; кверцетин-3-глюкозид - -1,36; кверцетин-1,5).

Предложенный способ получения гидрофобных флавоноловых и антоциановых соединений из флавоноидсодержащего растительного сырья (патент РФ №2733411) предполагает получение водного экстракта полифенола с последующим его концентрированием, добавление в реакционную массу каталитических количеств концентрированной ортофосфорной кислоты и гидролиз природных флавоноидов при температуре 70-80 °С до постоянного содержания сухих веществ в растворе. Выпавшие в осадок агликоны флавоноидов отфильтровывают и сушат.

Флавоноид-агликоны представляют собой порошки от темно-красного (для антоцианидинов) до темно-коричневого (для флавонолов) цвета, нерастворимые в воде, хорошо растворяются в низших спиртах (этанол, изопропиловом спирте), ацетоне, плохо растворяются в сложных эфирах (этилацетате, бутилацетате) и других малополярных органических растворителях.

Агликоны флавоноидов являются полифенольными соединениями и обладают антиоксидантной активностью, а поэтому оказывают стабилизирующее действие на сохранность продукции в условиях окислительных процессов.

Осуществление предложенного способа позволяет использовать гидрофобные флавоноловые и антоциановые пигменты для применения не только в пищевой, но и в медицинской и парфюмерно-косметической промышленности.

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА

Бочарникова Е.Н., Чайковская О.Н., Базыль О.К.

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск  
bocharnikova.2010@mail.ru

Изучение фенолов оптическими и квантово-химическими методами актуально, в связи с высокой фармакологической активностью этих соединений. Целью работы является изучение спектрально-люминесцентных свойств фенола, *n*-крезола и бисфенола А методами электронной спектроскопии и квантовой химии. Спектрально-люминесцентные характеристики растворов зарегистрированы на спектрофлуориметре СМ 2203 («SOLAR», Беларусь). Квантово-химические расчеты выполнены при помощи пакета программ, основанного на полуэмпирическом методе ЧПДП/С[1].

Анализ спектров поглощения и флуоресценции производных фенола в неполярном растворителе (гексан) показал, что фенол имеет характерное структурное поглощение в УФ-области спектра. В электронном спектре поглощения фенола выделяют две отчетливо выраженные полосы поглощения с максимумами на 37000 и 47400 см<sup>-1</sup>. При переходе от неполярного к полярному растворителю или при введении СН<sub>3</sub>-группы (*n*-крезол) структурность длинноволновой полосы пропадает. Полосы флуоресценции ВРА, *n*-крезола и фенола по энергии отличаются незначительно.

Согласно квантово-химическим расчетам [2], поглощение фенола и *n*-крезола в области 35000–36000 см<sup>-1</sup> вызвано одним электронным переходом S<sub>0</sub>→S<sub>1</sub> ππ\*-типа, поэтому наблюдаемая структурность электронной полосы – это проявление ее колебательной структуры. Введение в бензольное кольцо группы СН<sub>3</sub> приводит к уменьшению рассчитанной энергии электронных переходов, bathochromному сдвигу максимумов полос в длинноволновой и средней областях спектра и увеличению интенсивности длинноволновой полосы поглощения. В электронных полосах поглощения *n*-крезола положение вибронных уровней проявляется в виде двух перегибов в области 36000 и 46000 см<sup>-1</sup>. Что касается электронных переходов фенола и *n*-крезола в области спектра ~ 50000 см<sup>-1</sup>, то они локализованы только на атомах углерода ароматического кольца молекул. Следствием неплоского строения исследуемых молекул является смешанный характер орбитальной природы возбужденных состояний. Заметные различия в квантовых выходах флуоресценции исследуемых соединений вызваны разницей в геометрии замещенных молекул относительно геометрии фенола. Неплоская геометрия *n*-крезола и ВРА [3] приводит к росту синглет-триплетной конверсии в этих молекулах по отношению к плоскому фенолу и, как следствие, к уменьшению квантового выхода флуоресценции. Также с помощью квантово-химических расчетов было изучено изменение спектрально-люминесцентных свойств при возбуждении солнечным светом. Показано, что наличие метильных групп в замещенных фенолах в меньшей степени меняют спектры поглощения и флуоресценции, но заметно меняют эффективность синглет-триплетной конверсии и механизм фотолиза.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки России (проект № 0721-2020-0033).*

### Литература:

1. Артюхов В. Я., Галеева А. И. // Изв. вузов. Физика. – 1986. – Т. 29. – № 11. – С. 96–100.
2. Чайковская О.Н., Базыль О.К., Бочарникова Е.Н. // Изв. вузов. Физика. – 2021. – Т. 64. – № 8. – С. 3–8.
3. Bocharnikova E.N., Tchaikovskaya O.N., Bazyl O.K., et al. // Adv. Quantum Chem. – 2020. – V. 81. – P. 191–217.



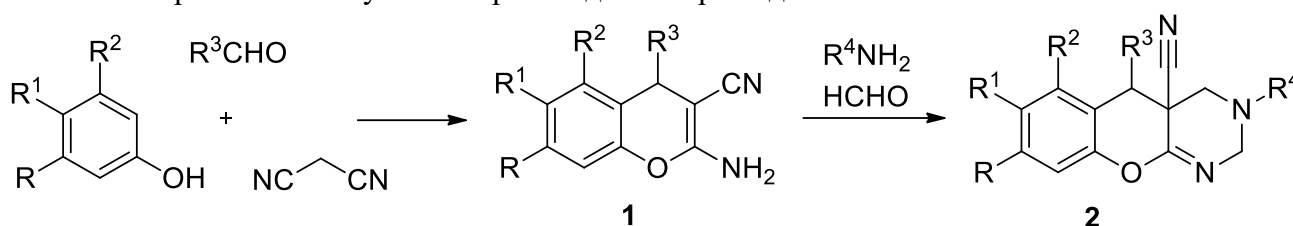
## РЕАКЦИИ АМИНОМЕТИЛИРОВАНИЯ ЗАМЕЩЕННЫХ 2-АМИНО-3-ЦИАНО-4Н-ХРОМЕНОВ

**Варзиева Е.А., Доценко В.В.**

ФБГОУ ВО Кубанский государственный университет, Краснодар, warzieva\_eina@mail.ru

Известно, что соединения пиранового ряда обладают широким спектром биологической активности [1], в частности, пирано[2,3-d]пиримидины, производные которых могут использоваться в качестве противомикробных, противоопухолевых препаратов, препаратов для лечения нейродегенеративных заболеваний [1-3].

Ранее был описан синтез тиено[2,3-d]пиримидинов методом аминометилирования 2-амино-4,5-дигидротиофен-карбонитрилов [4, 5]. Мы предположили, что реакция Манниха с участием 2-амино-3-циано-4Н-пиранов и хроменов **1**, имеющих подобный енаминитрильный фрагмент, также может привести к получению производных пиримидина по схеме:



Для проверки этого предположения ряд 2-амино-3-циано-4Н-хроменов **1**, синтезированных трехкомпонентной циклизацией фенолов (нафтолов, резорцинов) с малонитрилом и альдегидами, вводили в реакцию аминометилирования с HCHO и аминами R<sup>4</sup>NH<sub>2</sub> (R<sup>4</sup> = Ph, PhCH<sub>2</sub>). Образующиеся пиранопиримидины **2** были получены с выходами от 25-90 %. Строение подтверждено спектральными данными и РСА. В настоящее время изучается биологическая активность синтезированных соединений.

Таким образом, был предложен принципиально новый способ получения производных пирано[2,3-d]пиримидина, а также синтезированы не описанные ранее производные 4Н-пирана с потенциальным биологическим действием.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта Н-21.1/15.*

### Литература:

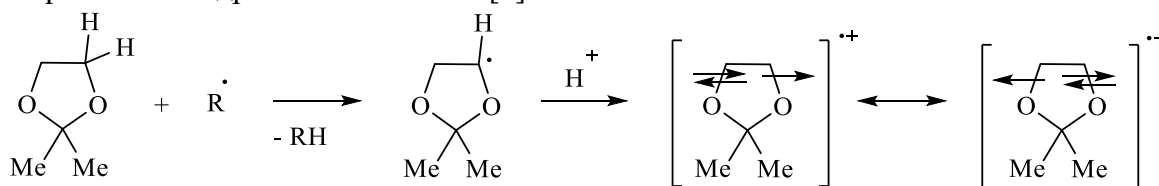
1. Шевердов В. П и др. Синтез, антипролиферативная и антимикробная активность метил-6-амино-3-ацил-4-арил-5-циано-4Н-пиран-карбоксилатов и их производных // Хим.-Фарм. журн. – 2014. – Т. 48, №6. – С. 25-28.
2. Kazemi M., Shiri L., Kohzadi H. Synthesis of pyrano[2,3- d]pyrimidines under green chemistry // J. Mater. Environ. Sci. – 2017. – Vol. 8. – P. 3410-3422.
3. Yalagala, K. et al. Synthesis, antimicrobial activity and molecular docking studies of pyrano[2,3- d]pyrimidine formimidate derivatives // Res. Chem. Intermed. – 2015. – Vol. 42. – P. 3763-3774.
4. Dotsenko V.V. et al. 2-Amino-4,5-dihydrothiophene-3-carbonitriles: a new synthesis, quantum chemical studies, and Mannich-Type Reactions Leading to New Hexahydrothieno[2,3-d]pyrimidines // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6, N 48. – P. 32571–32588.
5. Dotsenko V. V., Krivokolysko S. G., Litvinov V. P. The Mannich reaction in the synthesis of N,S-containing heterocycles 9. A new approach to thieno[2,3-d]pyrimidines // Russ. Chem. Bull. – 2009. – Vol. 58. №. 7. – P. 1524-1525.

## СТИМУЛИРОВАНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНОЛОВ ЦИКЛИЧЕСКИМИ АЦЕТАЛЯМИ

**Вольева В.Б., Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В.**

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М.Эмануэля РАН, Москва,  
violetta.voleva@gmail.com

Многие производные пространственно-затрудненных фенолов (ПЗФ) обладают антибактериальной активностью (АБА), которую обычно связывают со способностью к корреляции оксидантных патологий, развивающихся у больного организма под воздействием инфицирующего агента [1]. Однако нами получены данные, свидетельствующие о прямом воздействии ПЗФ на ультраструктурную организацию микроорганизма, нарушающем практически все процессы его функционирования [2]. При скрининговом исследовании значительной группы ПЗФ выявлены элементы структуры – структурные эффекторы (СЭ), соответствующие наиболее активным соединениям. К ним, в частности, относятся поплавковые фрагменты со свойствами ПАВ, построенные по принципу гидрофильный заряженный якорь – гидрофобный поплавок. Нами показано, что эти элементы могут быть усилены при использовании ПЗФ в комплексе с циклическими ацеталами (ЦА) – диоксидными гетероциклическими соединениями – диоксоланами и диоксанами, образующимися при конденсации вицинальных диолов (глицерин, этиленгликоль) с карбонильными соединениями. В паре с органическими протодонорами – низшими спиртами (этанол, пропанол) ЦА способны к одноэлектронному окислению с образованием катион-радикальных частиц, в гидрофильной биосреде дополнительно стабилизированных гидратной оболочкой.[3].



Учитывая это свойство ЦА, можно было ожидать аналогичного эффекта от комплексов ЦА с ПЗФ с генерированием катион-радикальных поплавковых структур и, следовательно, с усилением АБА. Такое предположение подтверждено экспериментально на группе ПЗФ, исследованных как индивидуальные соединения и в комплексе с 2,2-диметил-4-гидрокси-1,3-диоксоланом (золькеталем), которые обнаруживают значительное увеличение АБА (см. табл.1).

Таблица 1. Площади стерильных зон (мм<sup>2</sup>) без золькеталя/ с золькеталем.

0/452	0/78	0/201	33/356	68/615	7/401

### Литература:

1. Вольева В.Б., Овсянникова М.Н., Белостоцкая И.С., Комиссарова Н.Л., Малкова А.В. Зависимость антибактериальной активности от структуры фенольных антиоксидантов и возможности их превращения *in situ*. *Хим.-фарм. ж.*, 2016, 50 (5), 29-32.
2. Константинова Н.Д., Диденко Л.В., Шустрова Н.М., Белостоцкая И.С., Комиссарова Н.Л., Вольева В.Б. XX Российская конференция по электронной микроскопии, Черноголовка 2004, тезисы докладов, стр.236.
3. Вольева В.Б., Белостоцкая И.С., Комиссарова Н.Л., Малкова А.В., Похолок Т.В., Давыдов Е.Я. Антирадикальная активность диоксоланов, *ЖОрХ*, 2013, 49 (3), 458-461.



---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОЛИТИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ ПРИРОДНЫХ ФЕНОЛОВ

Вусович О.В.<sup>1</sup>, Чайковская О.Н.<sup>1,2</sup>, Андреева К.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет, Томск

<sup>2</sup>Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, ka1314049@gmail.com

Ванилин – одно из самых известных душистых веществ, а изованилин пахнет подобно фенолу (карболке), да и то при повышенной температуре. Ванилин и ванилиновая кислота содержатся в эфирных маслах многих растений, особенно богаты им плоды ванили. Ванилин устойчив к окислению, не вступает в реакцию Канницарро и другие реакции, характерные для ароматических альдегидов, обладает хорошей растворимостью в воде, этаноле, эфире, серной кислоте и других растворителях, применяется как ароматизатор в пищевой промышленности и душистое вещество в парфюмерии, для придания блеска покрытиям в гальванотехнике и для синтеза некоторых лекарственных средств, например, фтивазида. При рассмотрении в качестве объектов исследования ванилина, изованилина и ванилиновой кислоты необходимо учитывать присутствие в их строении заместителей в *мета*- и *пара*- положениях (метокси- и гидроксильная группы). ОН-группа в молекулах рассматриваемых бензальдегидов сообщает им кислотные свойства. Причем способность к ионизации в растворе этих соединений определяется взаимным влиянием хромофорных групп на распределение электронной плотности в молекуле.

При растворении наблюдается заметное изменение электронных спектров поглощения и флуоресценции соединений по сравнению со спектрами этих веществ в газовой фазе. В этом случае молекулы находятся под действием не только световой волны, но и поля межмолекулярных сил, окружающих частиц среды. Целью данного исследования является выявление закономерностей изменения протонодонорной и протоноакцепторной активности ванилина, изованилина и ванилиновой кислоты в зависимости от положения карбоксильной группы методами электронной спектроскопии и квантовой химии. Результаты могут использоваться при синтезе новых производных бензойной кислоты с заданными фармакологическими и терапевтическими свойствами. Очевидна и биохимическая значимость протолитических равновесий, особенно при изучении транспортных функций в биологических системах. Данные соединения имеют в своей структуре несколько активных центров: фенольное кольцо, карбонильная группа, карбоксильная группа и метоксигруппа. Изменение перераспределения электронной плотности на этих фрагментах при возбуждении изучено для нейтральных и ионных форм в основном и возбужденных состояниях. Атом карбонильного кислорода в анионных формах также, как и в нейтральных, имеет довольно значительный минимум электростатического потенциала.

Показано, что протоноакцепторная способность изомеров ванилина и изованилина примерно одинакова. В основном состоянии нейтральной формы изованилина самым электроотрицательным центром является метокси-группа. Установлено, что в основном и первом возбужденном электронных состояниях ванилин и изованилин существует в трех, а ванилиновая кислота - четырех протолитических формах. Ванилин обладает более кислотными и основными свойствами, по сравнению с изованилином. В нейтральных формах изученных соединений самым протоноакцепторным центром является атом карбонильного кислорода. В анионных формах ванилина и изованилина за счет того, что происходит отрыв протона в гидроксигруппе, образуется два протоноакцепторных центра: атомы кислорода карбонильной и О<sup>-</sup> групп. Вероятность подхода протона из среды к каждой из этих групп примерно одинакова.

*Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).*

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ АНТОЦИАНОВЫХ ПИГМЕНТОВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА CRASSULLACEAE

Гапуров Ж.Ж., Корулькин Д.Ю.

НАО Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
physcion@gmail.com

Антоциановые пигменты, относятся к числу широко распространенных во всех видах цветковых растений структурных типов флавоноидных метаболитов. Для них характерен широкий спектр биологической активности. Они уменьшают ломкость капилляров, улучшая функцию эндотелия, стимулируют регенерацию родопсина, способны ингибировать биосинтез афлатоксинов, для них описаны бактерицидная и фунгицидная активности. Антоцианы способны ингибировать агрегацию тромбоцитов, они проявляют противовоспалительную и противоопухолевую активность. Антоциановые пигменты способны ингибировать процессы перекисного окисления липидов.

Целью нашего исследования было изучение антиоксидантного действия антоцианов казахстанских видов растений рода *Sedum L.*

Для выделения антоцианов, соцветия изучаемых растений исчерпывающе экстрагировали при нагревании 1% раствором трихлоруксусной кислоты в метиловом спирте (1:3 v/v). Полученный экстракт разделяли на колонке с Амберлитом XAD-7, элюируя антоцианы этилацетатом, с последующим рехроматографированием этилацетатного экстракта на сефадексе LH-20 при градиентном элюировании смесью метиловый спирт – кислота трихлоруксусная – вода очищенная (от 19.8:0.2:80 до 59.6:0.6:40).

Апреление антиоксидантного действия индивидуальных антоцианов определяли фотометрически с использованием в качестве свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (DDPH), по стандартной методике, с использованием в качестве стандарта аскорбиновой кислоты. Антиоксидантное действие определялось для следующих веществ: 3-О-β-D-галактопиранозид цианидина (A1), 3-О-β-D-глюкопиранозид пеонидина (A2), 3-О-β-D-галактопиранозид дельфинидина, 3-О-β-D-(6'''-О-п-кумароил)-галактопиранозид дельфинидина (A3), 3-О-β-D-глюкопиранозид пеларгонидина (A4), 3-О-β-D-(2'''-О-галлоил)-галактопиранозид цианидина (A5), 3-О-β-D-(2'''',3'''-ди-О-галлоил)-галактопиранозид цианидина (A6). Полученные данные приведены на рисунке:

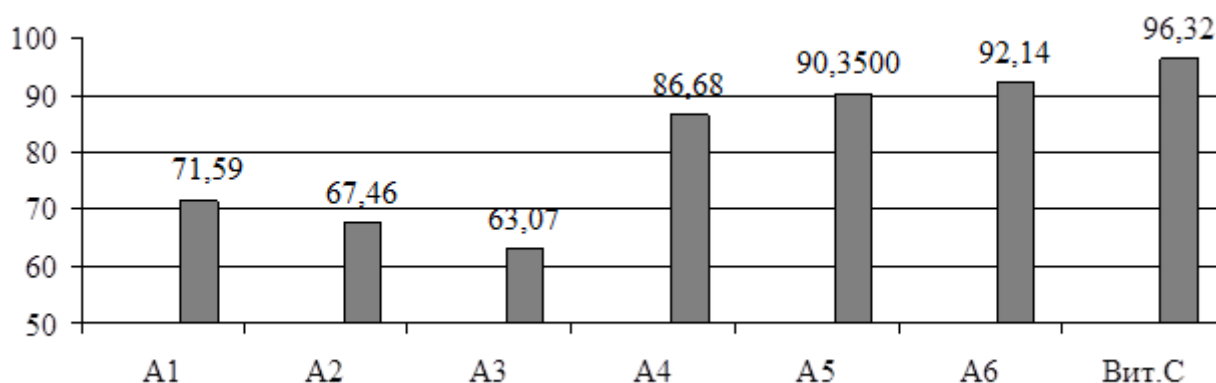


Рисунок - Антиоксидантная активность антоциановых пигментов при ингибировании DDPH-радикала

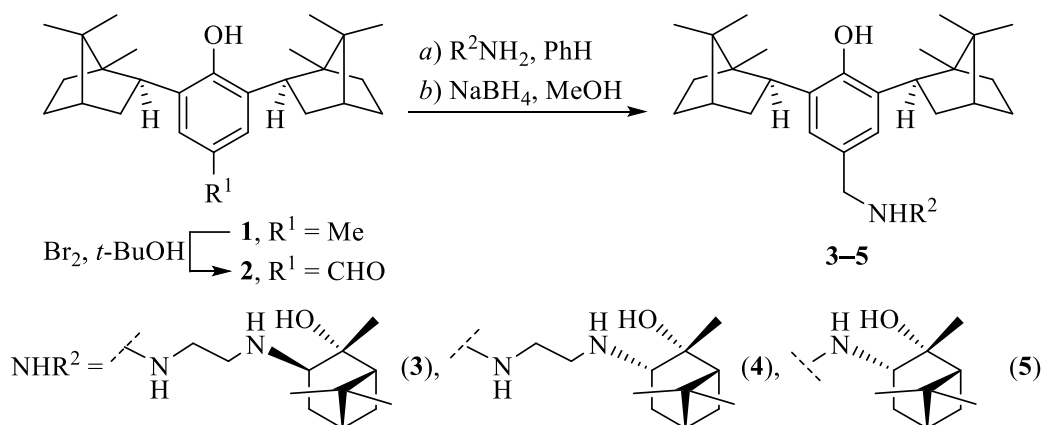
Из данных гистограммы следует, что все исследованные антоцианы обладают достаточно высоким уровнем антиоксидантного действия, при этом ацилирование молекулы повышает уровень активности, пропорционально числу ацильных фрагментов в структуре.

## СИНТЕЗ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА АМИНОМЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 2,6-ДИИЗОБОРНИЛФЕНОЛА С ПИНАНОВЫМ ЗАМЕСТИТЕЛЕМ

Дворникова И.А., Буравлёв Е.В., Шевченко О. Г. \*, Чукичева И.Ю.  
Институт химии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар,  
chukichevai@mail.ru

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар

В настоящей работе на основе 2,6-диизоборнил-4-метилфенола (**1**) через промежуточный альдегид **2** синтезирована серия оснований Манниха **3–5**, содержащих фрагмент амина с пинановой структурой. Для полученных соединений выполнена оценка антиоксидантных свойств на моделях *in vitro*.



Показано, что диамины **3** и **4** превосходили исходное соединение **1** по антирадикальной активности в DPPH-тесте. Для производных **3–5** отмечено значительное усиление Fe<sup>2+</sup>-хелатирующей способности относительно 2,6-диизоборнил-4-метилфенола (**1**), обусловленное наличием вицинальных NH- и OH-групп в пинановом заместителе. Синтезированные продукты активно ингибировали процессы иницированного перекисного окисления липидов в субстратах, полученных из тканей лабораторных мышей. Производные **3–5** при концентрации 10 μM отличались высокой эритротоксичностью, обусловленной наличием и количеством в их структурах NH-групп: моноамин **5** на начальных этапах инкубации вызывал меньшую гибель эритроцитов по сравнению с диаминами **3** и **4**.

Таким образом, нами синтезированы новые аминотильные производные 2,6-диизоборнилфенола с пинановым заместителем в аминном фрагменте. Несмотря на значительную эритротоксичность, полученные соединения продемонстрировали высокую антиоксидантную активность на моделях *in vitro* и могут оказаться перспективными для дальнейшего изучения.

Результаты исследования детально представлены в работе: Дворникова И. А., Буравлев Е.В., Шевченко О.Г., Чукичева И.Ю., Кучин А.В. Синтез и оценка антиоксидантных свойств новых аминотильных производных 2,6-диизоборнилфенола, содержащих пинановый фрагмент // Изв. АН. Сер. хим. 2021. № 11. С. 2185–2188.

## ПРИРОДНЫЕ ФЕНОЛЫ: ЭНЕРГИЯ ДИССОЦИИ О–Н-СВЯЗИ

Денисова Т.Г., Денисов Е.Т.

ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, denisova@icp.ac.ru

Кислород, как источник энергии живых существ, генерирует свободные радикалы  $RO_2^{\cdot}$ ,  $HO_2^{\cdot}$ ,  $O_2^{\cdot-}$  и  $HO^{\cdot}$ , инициирует губительные процессы окисления и деструкции биомолекул. Эволюция выработала защиту в виде биоантиоксидантов. Среди них важное место занимают природные фенолы разнообразного строения: токоферолы, флаваноиды, убихинолы и ряд других.

Важной характеристикой фенольных антиоксидантов является энергия диссоциации О–Н-связи (ЭДС). ЭДС определяет реакционную способность фенолов в радикальных реакциях. Опираясь на экспериментальные кинетические данные с использованием метода пересекающихся парабол (МПП) нам удалось оценить ЭДС для ряда природных фенолов. В таблице приведены значения  $D_{O-H}$ , кДж/моль для 26 природных фенолов.

Таблица. Энергии диссоциации ( $D_{O-H}$ ) наиболее слабой О–Н-связи природных фенолов

№	ArOH	О–Н-связь	$n_{O-H}$	$D_{O-H}$ , кДж/моль	Метод	Ссылка
1	$\alpha$ -Токоферол	6	1	330.0	МПП	1
2	$\beta$ -Токоферол	6	1	$335.3 \pm 2.0$	МПП	1
3	$\gamma$ -Токоферол	6	1	$334.9 \pm 2.0$	МПП	1
4	$\delta$ -Токоферол	6	1	$341.5 \pm 2.0$	МПП	1
5	Убихинол	1,4	2	346.0	МПП	1
6	Кемпферол, $n_{O-H} = 2$	7,4'	2	348.9	МПП	1
7	Морин, $n_{O-H} = 2$	7,4'	2	363.6	МПП	1
8	Убихроменол, $n_{O-H} = 2$	1,4	2	350.2	МПП	1
9	Кверцетин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	343.0	МПП	1
10	(-)-Эпикатехин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	$346.2 \pm 1.8$	МПП	1
11	Хризин, $n_{O-H} = 1$	7	1	357.1	МПП	1
12	Галангин, $n_{O-H} = 1$	7	1	363.1	МПП	1
13	Дигидрокверцетин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	343.6	МПП	1
14	Катехин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	$348.1 \pm 1.3$	МПП	1
15	Гесперетин, $n_{O-H} = 1$	3'	1	353.8	МПП	1
16	Физетин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	$348.0 \pm 1.7$	МПП	1
17	Галловая кислота, $n_{O-H} = 1$	4	1	347.4	МПП	1
18	Пропилгаллат, $n_{O-H} = 1$	4	1	334.6	МПП	1
19	Мирицетин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	340.9	МПП	1
20	(-)-Эпигаллокатехин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	344.6	МПП	1
21	Рутин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	$343.2 \pm 0.6$	МПП	1
22	Лютеолин, $n_{O-H} = 1$	3'	1	345.8	МПП	1
23	Гесперидин, $n_{O-H} = 1$	4'	1	342.7	МПП	1
24	Кофейная кислота, $n_{O-H} = 1$	4	1	339.8	МПП	1
25	$\beta$ -Глюкогаллин, $n_{O-H} = 1$	4	1	335.0	МПП	1
26	(-)-Эпикатехингаллат, $n_{O-H} = 2$	4',4''	2	$339.6 \pm 1.3$	МПП	1

### Литература:

Денисова Т.Г., Денисов Е.Т. Энергия диссоциации О–Н-связи природных фенолов // Физическая химия биопроцессов / Ред. С.Д. Варфоломеев. М.: Красанд. 2014. С. 189.

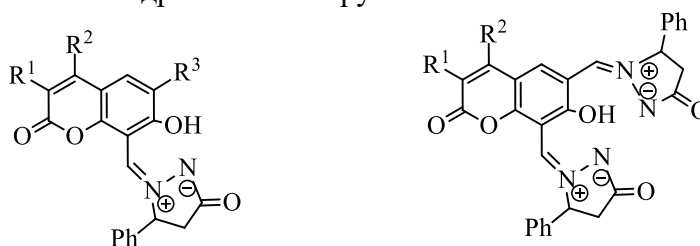
## ГИДРОКСИ(ДИГИДРОКСИ)КУМАРИН-АЗОМЕНИМИНОВЫЕ КОНЬЮГАТЫ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОБНАРУЖЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ИОНОВ

Дубоносков А.Д., Николаева О.Г.\*, Карлутова О.Ю.\*, Дубоносова И.В.\*, Брень В.А.\*

ФГБУН ФИЦ Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, aled@iproc.sfedu.ru

\*ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, НИИ физической и органической химии,  
Ростов-на-Дону

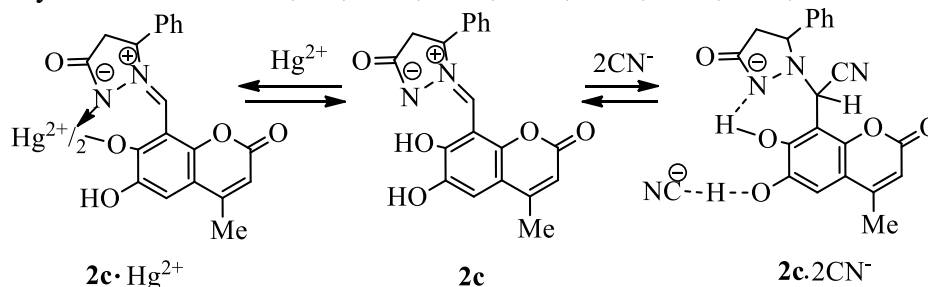
Экспресс-анализ токсичных катионов и анионов в объектах окружающей среды, биологических объектах, пищевых продуктах и лекарственных препаратах при помощи органических хемосенсоров является одной из приоритетных задач биологической и медицинской химии. С целью получения новых эффективных и селективных реагентов были разработаны гидроксид(дигидроксид)кумарин-азомениминовые моно- и бисконъюгаты **1** и **2**. Рецепторами в этих соединениях являются фенольные гидроксильные группы.



**1**: R<sup>1</sup> = R<sup>3</sup> = H, R<sup>2</sup> = Me (a); R<sup>1</sup> = H, R<sup>2</sup> = Me, R<sup>3</sup> = OH (b); R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup> = OH (c)  
**2**: R<sup>1</sup> = H, R<sup>2</sup> = Me (a); R<sup>1</sup> + R<sup>2</sup> = C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> (b)

Хемосенсоры **1**, **2** осуществляют визуальное детектирование фторид-, дигидрофосфат- и цианид-анионов, а также катионов *d*-металлов Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup> и Cu<sup>2+</sup> за счет проявления иохромных naked-eye эффектов и разгорания/тушения исходной флуоресценции с аномальным сдвигом Стокса (АСС).

Наилучшими свойствами обладает конъюгат **1c**, способный к отдельному селективному обнаружению анионов CN<sup>-</sup> в присутствии ионов-конкурентов F<sup>-</sup>, AcO<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> и катионов Hg<sup>2+</sup> в присутствии ионов Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup>.



Образование комплексов соединения **1c** с ионами Hg<sup>2+</sup> и CN<sup>-</sup> вызывает отчетливый naked-eye эффект, сопровождающийся изменением окраски раствора с бесцветной на желтую, а также полным ингибированием исходной АСС-флуоресценции или ее разгоранием соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках ГЗ в сфере научной деятельности (№ 0852-2020-0019), а также в рамках реализации ГЗ Южного научного центра РАН (№ 122020100282-6).

---

## **КАЛИЙ 2-КАРБОКСИ-2-(N-АЦЕТИЛАМИНО) -3- (3',5'-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-4'-ГИДРОКСИФЕНИЛ)-ПРОПИОНАТ КАК АДАПТОГЕН К СТРЕССОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

**Жигачева И.В., Крикунова Н.И., Генерозова И.П.\*, Буцанец П.А.\***

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, zhigacheva@mail.ru

\*ФГБУН Институт физиологии растений РАН, Москва

Одним из основных источников избытка активных форм кислорода (АФК) в клетке в условиях стресса являются митохондрии. Избыток АФК ведет к окислению тиоловых групп белков, перекисидации мембранных липидов и набуханию митохондрий, что приводит к развитию патологических состояний. В связи с этим довольно актуальна проблема поиска препаратов-адаптогенов, повышающих устойчивость организма к действию стрессовых факторов. Поскольку митохондрии являются основным источником АФК в условиях стресса, мы выдвинули гипотезу о том, что основным механизмом действия препаратов-адаптогенов является снижение генерации АФК этими органеллами. На роль адаптогенов в первую очередь претендуют природные и синтетические фенольные антиоксиданты, имеющие высокие константы ингибирования свободнорадикального окисления. В качестве такого препарата в своей работе мы использовали калий 2-карбоксо-2-(N-ацетиламино) -3- (3',5'-ди-трет-бутил-4'- гидроксо-фенил)-пропионат (калий анфен). Исследовали влияние калий анфена на функциональное состояние митохондрий 5 дневных этиолированных проростков гороха и печени крыс.

Калий анфен в концентрациях  $10^{-5}$  -  $10^{-8}$  М и  $10^{-13}$ - $10^{-16}$  предотвращал активацию ПОЛ в мембранах митохондрий проростков гороха и митохондрий печени крыс, увеличивал скорости окисления НАД-зависимых субстратами и сукцината в дыхательной цепи митохондрий, что, вероятно, указывало на антистрессовые свойства препарата. Проверку антистрессовых свойств препарата проводили, используя модель дефицита воды (ДВ) для растений и острой гипобарической гипоксии (ОГГ) для животных. В своих исследованиях мы использовали препарат в концентрации  $10^{-6}$ М, т.е. в той концентрации, в которой препарат предупреждал активацию ПОЛ в модельной системе. ОГГ и ДВ приводили к 1,5-3-кратному увеличению интенсивности флуоресценции продуктов ПОЛ в мембранах митохондрий печени крыс и мембранах митохондрий проростков гороха. Введение крысам  $10^{-6}$ моль/кг препарата за 45 минут до воздействия предотвращало активацию ПОЛ. Такой же эффект был получен обработкой семян гороха  $10^{-6}$ М раствором калий анфена.

Изменение физико-химических свойств мембран митохондрий отразилось на биоэнергетических характеристиках этих органелл. ОГГ и ДВ приводили к снижению максимальных скоростей окисления НАД-зависимых субстратами на 28% и 31% соответственно. Введение калий анфена животным и однократная обработка семян гороха предупреждали данные изменения. Активация ПОЛ в условиях стресса, вызывающая изменения функциональных характеристик митохондрий, отразилась и на физиологических показателях и, прежде всего, на выживаемости животных в условиях гипоксии и острого алкогольного отравления. Продолжительность жизни животных в условиях различных видов гипоксии возрастала в 1,8-4,5 раза и в 3,9 раза – в условиях острого алкогольного отравления, а выживаемость животных увеличивалась на 12-40%. Отметим, что обработка семян гороха  $10^{-6}$  М раствором калий анфена предотвращала торможение роста проростков в условиях дефицита воды. Можно предположить, что протекторная активность калий анфена обусловлена его антиоксидантными свойствами.



---

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРФИРИНПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕЗО-АРИЛПОРФИРИНА И ПОЛИЛАКТИДА

Захаров М.С., Тертышная Ю.В.\* , Абушахманова З.Р.\*

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, [Imbaroson@yandex.ru](mailto:Imbaroson@yandex.ru)

\*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва

Синтез новых полимерных биологически активных соединений и получение полимерных материалов биомедицинского назначения является активно развивающейся областью. Порфиринопolíмеры также находятся в фокусе большого числа исследователей. Изучаются различные способы иммобилизации в полимерную матрицу, биоактивность, возможность применения в фотодинамической терапии.

Данная работа направлена на создание, исследование структуры и антибактериальных свойств композитов на основе полилактида с добавлением мезо-арилпорфирина с алкильными заместителями ТФП-4ОС<sub>6</sub>. Полученные материалы могут найти применение в качестве антибактериальных покрытий или материала медико-биологического назначения.

Полилактид (ПЛА) – термопластичный полиэфир, синтезируемый методом полимеризации молочной кислоты, которую получают из возобновляемых источников растительного сырья (кукурузы, пшеницы, сахарной свеклы). Ввиду своей биосовместимости и биодеструкции полилактид широко применяется в медицине: для производства хирургических нитей и штифтов, в системах доставки лекарств.

В данной работе были получены композиции ТФП-4ОС<sub>6</sub> с полилактидом, где количество ТФП в приготовленных композитах составило: 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 масс.%. Изучены оптические, теплофизические свойства, проведены рентгеноструктурный анализ (РДА) и антибактериальный тест.

Исходя из экспериментальных данных, можно заключить:

1. Методом оптической микроскопии и с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) показано равномерное распределение ТФП-4ОС<sub>6</sub> в матрице ПЛА с эффектом пленки.
2. Методом ДСК установлено некоторое влияние ТФП4ОС<sub>6</sub> на теплофизические характеристики матрицы ПЛА.
3. Методом термогравиметрического анализа обнаружено, что добавление ТФП4ОС<sub>6</sub> в матрицу полилактида не влияет на ход процесса, но влияет на начальную температуру начала деструкции, она смещается в область более низких температур на 5-6 °С, по сравнению с чистым ПЛА.
4. Методом РДА установлено, что порфирин не влияет на  $\alpha$  (альфа) форму кристаллических образований ПЛА.
5. Антибактериальный тест показал, что порфирин ТФП4ОС<sub>6</sub> проявляет антибактериальную активность по отношению к культурам микроорганизмов: кишечной палочки и стафилококка. Максимальная антибактериальная активность проявляется при концентрации 0.4-0.5 масс.%.

---

## СОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ОКТАДЕЦИЛСИЛИКАГЕЛЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРОССГЕМИНУ

Зыкова З.В., Мамедова В.Э.

ФГБОУ ВО Сибирский государственный медицинский университет, Томск,  
zoja.zykova.2002@mail.ru

Введение. Актуальной проблемой современной медицины является распространенное в сибирском регионе заболевание – описторхоз. Это гельминтозное заболевание, вызванное плоскими червями класса сосальщиков, поражающее печень и протоки поджелудочной железы.

Гроссгемин – сесквитерпеновый лактон, продуцируемый васильком шероховатым (*Centaurea scabiosa* L.), обладает выраженной противоописторхозной активностью и его изучение является перспективным направлением, однако выделение и концентрирование лактонов для целей анализа лекарственного растительного сырья остается малоизученным.

Цель работы. сорбционной активности октадецилсиликагеля по отношению к гроссгемину для дальнейшей разработки алгоритма подготовки водных и органических извлечений из растительного сырья.

Материалы и методы. В качестве концентрирующего материала использовали патроны, заполненные на  $500 \pm 70$  мг октадецилсиликагелем (Chromabond REF 730611, Германия, Северный Рейн-Вестфалия). Для определения сорбционных характеристик использован СОП СО ЦВТ – 002 – 01 – 21 - гроссгемин, из которого приготовлены растворы с концентрацией  $0,25 \text{ мг/см}^3$  в условиях увеличения гидрофильности элюента: 10%, 20%, 30%, 50% MeCN. Адсорбцию аналита измеряли в динамическом режиме путём пропускания стандартных растворов в диапазоне концентраций  $0,036 - 0,25 \text{ мг/см}^3$ , содержание аналита в каждой порции элюата ( $1 \text{ см}^3$ ) методом спектроскопии (СФ-2000) при длине волны  $205 \pm 2 \text{ нм}$ .

Результаты и обсуждение. На основе полученных данных построены динамические кривые сорбции. Графически определены сорбционные характеристики: «объём до проскока» (от  $2,1 \pm 0,2$  до  $6,3 \pm 1,4$ ), объём удерживания (от  $2,1 \pm 0,5$  до  $9,8 \pm 1,4$ ), равновесный объём (от  $3,3 \pm 1,4$  до  $12,3 \pm 1,4$ ), рассчитана динамическая ёмкость в мг/г (от  $1,0 \pm 0,2$  до  $4,8 \pm 0,6$ ).

При увеличении гидрофильности элюента значения сорбционных характеристик значительно уменьшаются. Сорбент С-18 при элюировании 20% раствором ацетонитрила обладает наиболее высокими характеристиками удержания гроссгемина, что подтверждается значениями динамической ёмкости, которая в 2,74 и 4,61 раза больше при элюировании 30% и 50% ацетонитрилом, соответственно. Дальнейшее концентрирование эффективнее всего проводить при элюировании 20% раствором ацетонитрила.

При проведении эксперимента с элюированием 10% ацетонитрилом вымывание концентрируемого вещества не происходило после пропускания  $25 \text{ см}^3$  раствора гроссгемина. Чтобы доказать его адсорбцию, через патрон пропущено  $3 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$  и  $5 \text{ см}^3$  более полярного 40% MeCN для вымывания с поверхности сорбента аналита. Таким образом, наиболее селективным является 10% ацетонитрил, однако для установления его сорбционных характеристик необходимо менять методику проведения анализа – увеличить концентрацию анализируемого вещества.

Заключение. Установлено, что варьирование концентрации растворителя на стадии определения сорбционных свойств влияет на «объём до проскока», объём удержания, равновесный объём и динамическую ёмкость. Из изученного диапазона концентраций лучшей способностью концентрирования гроссгемина для данной методики обладает 20% ацетонитрил, 10% же требует дальнейших исследований. Изученная сорбционная активность сорбента на основе С-18 по отношению к гроссгемину дает возможность для дальнейшей разработки алгоритма подготовки водных и органических извлечений из растительного сырья перед хроматографическим анализом.



## ГИДРОПЕРОКСИДНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛА И ЕГО АЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СТРОЕНИЯ

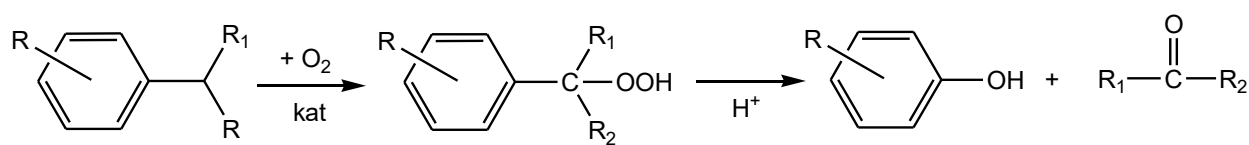
Кабанова В.С., Курганова Е.А., Фролов А.С., Кошель Г.Н.

ФГБОУ ВО Ярославский государственный технический университет, Ярославль  
viktoriya.kabanova.1999@mail.ru

Фенол и его алкилпроизводные являются ценными продуктами органического и нефтехимического синтеза и находят широкое применение в различных отраслях промышленности: используются при производстве лакокрасочных материалов и покрытий, печатных красок; в процессах нефтепереработки хорошо зарекомендовали себя как соединения, имеющие высокую селективность для удаления смолистых веществ; в фармацевтической промышленности используются в качестве консервантов и антиоксидантов при производстве лекарственных средств; в медицине алкилфенолы известны как хорошие антисептические средства.

В промышленности реализован способ получения алкилфенолов, заключающийся в алкилировании фенола олефинами с применением сернокислотных катализаторов. Однако, существенным недостатком данного метода является протекание большого числа побочных реакций, что значительно снижает степень чистоты получаемых соединений, доставляет сложности в разделении продуктов в промышленных масштабах, а также ограничивает сферы их применения.

Целью данной работы является разработка нового способа получения фенола и его алкильных производных, состоящего из трех стадий: алкилирование ароматического углеводорода, жидкофазное аэробное окисление продукта алкилирования с образованием соответствующего гидропероксида и его кислотное разложение в алкилфенол и соответствующий кетон. Упрощенно схему процесса можно представить в следующем виде:



где R – алифатический или циклический заместитель.

Предложенная схема является аналогом «кумольной» технологии, имеющей принципиальный недостаток: наряду с фенолом образуется побочный продукт – ацетон, который не находит эквивалентного рынка сбыта вследствие разработки новых способов синтеза метилметакрилата (основная сфера применения ацетона), что значительно снижает потребность химической промышленности в данном соединении.

В настоящее время получены закономерности протекания основных стадий разрабатываемого процесса на примере получения *para-tert*-бутилфенола, 2,4,6-триметилфенола, а также фенола совместно с метилэтилкетонем и циклогексанолом.

Исследованы закономерности проведения реакций алкилирования ароматических углеводородов; найдены условия, позволяющие получать целевые продукты с выходом более 95 %.

Изучены реакции аэробного окисления полученных алкилароматических соединений в присутствии *N*-гидроксифталимида. Установлено, что использование данного катализатора позволяет повысить скорость реакции и селективность образования гидропероксида.

Изучено влияние температуры, концентрации катализатора и начальной концентрации гидропероксида на процесс его кислотного разложения до целевых продуктов.

Структуры промежуточных и целевых продуктов подтверждены методами газо-жидкостной хроматографии, ИК- и ЯМР <sup>1</sup>H-спектроскопии.

---

## A MACHINE LEARNING-BASED QUANTITATIVE STRUCTURE-ACTIVITY RELATIONSHIP STUDY FOR THE CARCINOGENIC ACTIVITY OF PHENETHYLAMINES

Jamshid Kayumov<sup>1</sup>, Sardor Narzullaev<sup>1</sup>, Zulayho Smanova<sup>1</sup>, Durbek Usmanov<sup>2</sup>,  
Bakhtiyor Rasulev<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>National University of Uzbekistan, named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

<sup>3</sup>Department of Coatings and Polymeric Materials, North Dakota State University, Fargo ND, USA

A novel model is developed for the prediction of the psychotomimetic activity of the substituted phenethylamines as psychedelic drugs. The structure-activity analysis was performed using a quantitative structure-activity relationship (QSAR) method where molecular structures of the desired phenethylamine derivatives used and their activities. In this study 118 different substituted phenethylamines are used with reported psychotomimetic activity values. The QSAR analysis was carried out by application of combined approach of genetic algorithm for variables selection and multiple linear regression analysis. In order to find a stable conformation and generate additional descriptors for QSAR study a quantum-chemical analysis was performed by applying a semi-empirical method. As a result, a number of models were developed, where a ten-variable model showed the best predictive performance with  $r^2 = 0.7428$  and  $q^2_{LOO} = 0.6738$ . The robustness and predictability of the best model was validated using a leave-one-out technique, external set and y-scrambling methods. The predictive ability of the model was confirmed with the external set, showing the  $r^2_{ext} = 0.7365$ . The developed model can be used in the prediction of the psychotomimetic activity of new and untested organic compounds.

**Materials and Methods.** A specific QSAR modeling techniques used in this study [1]. The dataset of the compounds for the present research work was collected from several published experimental data [2-3] with psychotomimetic activity (PA). All original activity data were converted into molar  $1/\log(\text{PA})$  response variables.

**Results and Discussion.** The whole set of 118 compounds was divided into the training set consisted of 98 compounds and a test set (predicting set) of 20 compounds. GA-MLRA technique has identified several models.

The following equation represent the developed model towards the PA:

$$\begin{aligned} \text{Log(PA)} = & 0.4937 (\pm 0.3728) \text{Jhetv} - 0.0315 (\pm 0.0157) \text{MPC07} - 0.8057 (\pm 0.4383) \text{MATS8v} - \\ & 0.2671 (\pm 0.2819) \text{GATS5e} + 11.0819 (\pm 4.0085) \text{BELm1} + 1.0233 (\pm 0.4618) \text{BEHe8} + 3.1745 (\pm 1.3014) \text{E2m} - \\ & 20.5801 (\pm 13.8738) \text{R6u} + \\ & + 10.8007 (\pm 5.1876) \text{R4p} + 0.1922 (\pm 0.1824) \text{H-051} - 19.1914 (\pm 7.7205) \end{aligned}$$

### References:

1. Patnode K., Demchuk Z., Johnson S., Voronov A., Rasulev B. Combined Computational Protein-ligand Docking and Experimental Study of Bioplastic Films from Soybean Protein, Zein and Natural Modifiers, ACS Sustain. Chem. Eng., 2021, 9, 10740-10748
2. Ashby J., Tennant R.W. Mutat. Res. 1991, 257, 229-306
3. Rosenkranz H.S., Klopman G. Toxicol. Ind. Health. 1988, 4, 533-540

---

## **АКТИВНОСТЬ (3,5-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-4-ГИДРОКСИФЕНИЛТИОЛАТ)ТРИМЕТИЛОЛОВА В ОТНОШЕНИИ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА *IN VITRO***

**Коляда М.Н., Осипова В.П., Пименов Ю.Т.\*, Берберова Н.Т.\***

ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону,

\*ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, mnkolyada@mail.ru

Гидроксильный радикал (НО•) является одной из самых агрессивных активных форм кислорода (АФК), который легко может образовываться в организме, например, в реакции одноэлектронного окисления  $H_2O_2$  в присутствии железосодержащих соединений. Снижение способности эритроцитов разлагать наиболее стабильную АФК – пероксид водорода ( $H_2O_2$ ), способную проникать через биомембраны, может быть одной из причин развития окислительного стресса, промотированного известным токсикантом хлоридом триметилолова ( $Me_3SnCl$ ). В работе изучена активность полученного на основе 2,6-ди-трет-бутил-4-меркаптофенола (RSH) и  $Me_3SnCl$  комплекса триметилолова (3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенилтиолат)триметилолова ( $Me_3SnSR$ ) в отношении НО• и  $H_2O_2$  *in vitro* в сравнении с активностью исходного токсиканта. Исследовано влияние данных соединений на окислительную деструкцию дезоксирибозы до малонового диальдегида (МДА) под действием НО• сгенерированного при неферментативном разложении  $H_2O_2$  в реакции Фентона [1], на скорость ферментативного разложения  $H_2O_2$  отмытыми эритроцитами крови человека.

Установлено, что  $Me_3SnCl$  (0.09 мМ), также как и диметилсульфоксид (ДМСО), являющийся известной ловушкой НО•, снижает образование МДА более чем на 50%, что может быть обусловлено действием хлорид-ионов, реакция которых с НО•, видимо, конкурирует с основным процессом трансформации углевода [2]. Показано, что  $Me_3SnSR$  в концентрациях от 0.5 до 2 мМ существенно снижает ингибирование деструкции дезоксирибозы под действием ДМСО, причем промотирующий эффект тиолата олова прямо пропорционален концентрации соединения. В специальных опытах было обнаружено, что тиолат олова не оказывает влияния на дезоксирибозу в системе, не содержащей ионов железа и пероксида водорода. Для  $Me_3SnCl$  обнаружено снижение скорости разложения  $H_2O_2$  гемолизатом эритроцитов крови на 50% по сравнению с контролем без добавки токсиканта, что может быть связано с ингибированием антиоксидантных ферментов – каталазы и пероксидазы, и взаимодействием данных соединений с гемоглобином – основным компонентом гемолизата эритроцитов. Внесение же  $Me_3SnSR$  в среду измерения приводит к возрастанию скорости данного ферментативного процесса на 29%, что может свидетельствовать о пероксидазной активности данного комплекса.

Таким образом, введение фрагмента стерически-затрудненного меркаптофенола в структуру соединения олова приводит к нивелированию его негативного влияния на способность эритроцитов разлагать  $H_2O_2$ . Полученные результаты могут быть использованы для создания фармпрепаратов, не оказывающих нежелательных побочных эффектов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (в рамках государственного задания), рег. № 122020100328-1*

### Литература:

1. Halliwell B., Gutteridge J.M., Aruoma O.I. Anal Biochem. 15 (1987). 215-219.
2. De Laat J, Truong Le G, Legube B. A //Chemosphere 55 (2004) 715–723.

---

## РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ В СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ И РАДИОПРОТЕКТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ А,В-НЕНАСЫЩЕННЫХ ФЕНОЛОВ

Косторная Д.Р., Косолапов Н.В., Петрухина В.Н., Николаева В.В., Фенин А.А.  
Российский химико-технологический университет им.Д.И.Менделеева, Москва,  
dariakostornaya@yandex.ru

В настоящее время нам известно, что ионизирующее излучение оказывает пагубное влияние на организм человека. При его воздействии образуются свободные радикалы, нарушающие биохимические процессы в организме, что в свою очередь вызывает различные заболевания. На данный момент лучшим средством против них являются фенольные соединения, обладающие антиоксидантными свойствами, к которым также относится класс кумаринов. Богатейшим источником этого класса соединений являются растения. Они широко используются в промышленности, например, в качестве лекарственных средств, антиоксидантов, ароматизаторов, красителей и инсектицидов. Они выступают в качестве ингибиторов, которые в свою очередь реагируют со свободными радикалами и образуют неопасные для организма соединения. Таким образом можно сделать вывод, что кумарины вызывают противовоспалительное и нейропротектное воздействие.

Ключевой характеристикой по отношению к антиоксидантам является их реакционная способность. Реакционная способность обуславливает фактор того, как быстро вещество нейтрализует свободные радикалы. Реакционная способность определяется константой скорости антиоксиданта.

Целью нашего исследования является определение реакционной способности кумаринов. Константа скорости реакции является универсальной характеристикой, исследуемого вещества, поскольку не зависит от способа инициирования свободно-радикальной реакции. Определить эту величину химическими методами, иницируя свободно-радикальные реакции, затруднительно, так как нет возможности остановить химическую реакцию в любой момент. А использование метода импульсного радиолиза, для определения константы скорости, невозможно, ввиду недоступности данной установки.

Методика проведения: для получения числового значения константы спиртовой раствор кумарина поместили на поток рентгеновского излучения, тем самым иницируя образование свободных радикалов, которые в свою очередь вступают в реакции с антиоксидантами. Используя аналитические методы хромато-масс-спектрометрического анализа, выстроив графики, получили количественное соотношение концентрации раствора кумарина к времени облучения. Построив линейную зависимость, рассчитали константу скорости.

Результаты исследования: определены константы скоростей реакций кумаринов с гидроксиэтильным радикалом, которые находятся в диапазоне от  $9.25 \cdot 10^4$  до  $2.54 \cdot 10^6$  моль $\cdot$ л $^{-1}\cdot$ с $^{-1}$  в зависимости от структуры. Наибольшую активность проявляет незамещенный кумарин. Введение заместителей, в особенности в четвертое положение, приводит к снижению константы скорости реакции.

Константы скорости реакции взаимодействия  $\alpha$ - гидроксилкильного радикала с транс-феруловой, пара-кумаровой кислотой и синаповой кислотой составляют от  $1,2-1,6 \cdot 10^6$  л/моль $\cdot$ с. Квантово-химическое моделирование реакций гидроксикоричных кислот с радикалами показал, что:

- для малоатомных гидроксилсодержащих радикалов основным процессом будет присоединение по двойной связи в бета-положении;
- для гидроксильного радикала будет наблюдаться два процесса присоединения и отрыв атома водорода;
- для алкильных радикалов конкуренция между реакциями присоединения и отрыв атома водорода будет определяться как структурой радикала, так и структурой гидроксикоричной кислоты.

---

## ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ФЛАВОНОИДОВ

Лысенко А.Г., Орлова К.И., Фенин А.А.

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический Университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
lysenko.nastasia@yandex.ru

Свободные радикалы образуются в организме как основные и побочные продукты метаболизма. При их избыточном образовании организм перестает самостоятельно справляться с ними, что приводит к возникновению заболеваний и к преждевременному старению организма. В настоящее время ведется активная борьба с избыточным количеством свободных радикалов с помощью неферментных антиоксидантов, которыми и являются флавоноиды.

Флавоноиды способны связывать ионы металлов с переменной валентностью, образуя стабильные хелатные комплексы, такие соединения ингибируют свободно радикальные процессы.

Наиболее простым методом обнаружения супероксида *in vitro* (в пробирке) является спектрофотометрический метод, в основе которого лежит реакция восстановления красителя нитросинего тетразолия (НСТ) до диформаза с образованием стабильного промежуточного продукта- частично восстановленного моноформаза, образование которого регистрируется при длине волны 550-560 нм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что кверцетин снижает выход диформаза в 2.30 раза, его металлокомплекс с медью в 2.27 раз, а медь в 4.60 раз и таким образом вступают в реакцию с супероксид анион радикалом.

Сопоставление скоростей накопления супероксида показывает, что комплекс проявляет такую же активность как и кверцетин, таким образом снижая активность меди в реакции с супероксид анион радикалом. Для понимания процессов, происходящих в системе, было проведено квантово-химическое моделирование реакций кверцетина и его комплексов с металлами с супероксидным анион радикалом с оптимизацией начальных и конечных продуктов реакции в программе «ogsa» с использованием метода функционала плотности B3LYP с набором базисных функций 6-31G(dp) и расчеты подтвердили снижение реакционной способности кверцетина.

Были проведены исследования реакционной способности кверцетина и его комплекса с медью по отношению к гидроксильному радикалу и получено при этом следующее: значение константы скорости для кверцетина составило  $(2,16 \pm 0,235) \cdot 10^{-5}$  л/моль·с, для комплекса кверцетин-медь составило  $(8,85 \pm 0,365) \cdot 10^{-4}$  л/моль·с

Таким образом, как и для реакции с супероксидным анион радикалом происходило снижение активности флавоноида при его переходе в металлокомплекс.

## РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ФЕНОЛОВ С ДВУМЯ ГИДРОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ В ПРИСУТСТВИИ ЛЕЦИТИНА

Мазалецкая Л.И., Шелудченко Н.И., Шишкина Л.Н.

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, lim@sky.chph.ras.ru

Среди природных и синтетических антиоксидантов (АО) наиболее распространены соединения класса фенолов, которые различаются как по строению, биологической активности, так и по реакционной способности по отношению к свободным радикалам. На реакционную способность фенольных АО оказывает влияние не только состав, природа заместителей и расположение относительно друг друга ОН-групп, но и их взаимодействие с компонентами биомембран – фосфолипидами. Изучена реакционная способность полифенолов с различным расположением ОН-групп в молекуле, в процессах иницированного и автоокисления модельных субстратов – этилбензола (333 К) и метилолеата (323 К) в отсутствие и в присутствии лецитина. Было установлено, что добавки лецитина приводят к снижению реакционной способности фенольных АО. Степень его влияния на реакционную способность зависит от расположения ОН-групп в молекуле фенола и увеличивается с ростом начальной концентрации введенного лецитина (таблица).

Таблица. Снижение эффективности ингибирования фенольных антиоксидантов в присутствии добавок лецитина. Этилбензол, 333 К,  $W_1 = 5 \times 10^{-8}$  моль/л с,  $[AO]_0 = 6 \times 10^{-5}$  моль/л.

[Лецитин], мг/мл	Время достижения 5 отн.ед. объема поглощенного кислорода ( $\tau_{AO_2} = 5$ отн. ед.), МИН				
	3-гидрокси-5,6- диизоборнил-фенол	2-гидрокси-3- изоборнил- фенол	2-изоборнил-4- гидрокси-фенол	Генистеин	Лецитин
0	46	41	21.2	18,5	5,6
1	17.6	36	19.5	7,5	4,35
5	7.5	21	16.8	6,1	3,94
10	6.7	16.5	16.3	5,8	3,7
15	6.7	14	13	5,5	3,1

Наиболее значительное снижение эффективности ингибирования наблюдали для фенольного АО с расположением ОН-групп в *мета*-положении, которое достигало 85%, кроме того с увеличением начальной скорости наблюдали уменьшение стехиометрического коэффициента ингибирования. Для фенола с *пара*- расположением ОН-групп максимальное снижение эффективности составило 39%, что сопоставимо с изменениями, в присутствии лецитина без АО. Промежуточное положение занимает генистеин и фенол с ОН-группами в *орто*-положении. Снижение эффективности действия полифенолов в присутствии лецитина наблюдали и в процессе автоокисления метилолеата.

Установлено, что наблюдаемые эффекты обусловлены взаимодействием лецитина с АО, которое приводит к снижению реакционной способности ОН-группы. О взаимодействии свидетельствует тот факт, что дифференциальные УФ-спектры смеси, снятые относительно АО не совпадают со спектром поглощения лецитина. Также не наблюдается совпадения дифференциальных спектров смесей, снятых относительно раствора лецитина со спектром АО. Методом ИК-спектроскопии показано, что взаимодействие протекает с участием ОН-группы полифенола.

Авторы выражают искреннюю благодарность чл.- корр. РАН А.В. Кучину, д.х.н. И.Ю. Чукичевой и к.х.н. И.В. Федоровой за предоставленные для исследований препараты изоборнилфенолов.



## QSAR-МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В РЯДУ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛОВ

Мартынова Ю.З., Хайруллина В.Р., Мустафин А.Г.

ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа, martynovayuz@gmail.com

Целью данной работы было установление взаимосвязи «структура-антиокислительная активность» в ряду некоторых производных природных фенолов. Моделирование проводили с использованием компьютерной программы GUSAR 2019 (General Unrestricted Structure Activity Relationships) [1, 2]. Для описания взаимосвязи «структура-антиокислительная активность» в данной работе использовали метод Both, основанный на сочетании самосогласованной регрессии и метода радиальных базисных функций, заложенный в программе GUSAR 2019, на основе дескрипторов многоуровневых атомных окрестностей (MNA) и количественных атомных окрестностей (QNA). В качестве моделируемого количественного параметра, характеризующего антиокислительную активность соединений обучающих выборок OB1 и OB2, выбрали литературные значения констант скорости обрыва цепи на ингибиторе в виде  $\lg k_7$  [3-5]. В общей сложности было построено шесть статистически значимых моделей QSAR M1-M6, табл. 1. Эти модели применимы для виртуального скрининга и поиска новых соединений с выраженной антиокислительной активностью.

Таблица 1. Статистические характеристики и оценка показателей точности предсказаний значений  $\lg k_7$  по консенсус-моделям M1-M6

Обучающая выборка	Модель	N	R <sup>2</sup> <sub>ов</sub>	Q <sup>2</sup> <sub>ов</sub>	R <sup>2</sup> <sub>ТВ</sub>	F	SD	V
Модели QSAR, построенные на основе QNA-дескрипторов								
OB1	M1	74	0.975	0.831	–	9.672	0.544	22
OB2	M4	62	0.968	0.797	0.897	6.517	0.592	20
Модели QSAR, построенные на основе MNA-дескрипторов								
OB1	M2	74	0.970	0.837	–	11.866	0.541	18
OB2	M5	62	0.973	0.818	0.867	8.006	0.564	18
Модели QSAR, построенные на основе QNA- и MNA-дескрипторов								
OB1	M3	74	0.983	0.857	–	7.685	0.537	22
OB2	M6	62	0.981	0.834	0.889	5.918	0.574	19

N – число структур в OB; R<sup>2</sup><sub>ов</sub> – коэффициент детерминации, рассчитанный для соединений из OB R<sup>2</sup><sub>ТВ</sub> – коэффициент детерминации, рассчитанный для соединений из ТВ, Q<sup>2</sup> – коэффициент корреляции, рассчитанный на OB при скользящем контроле с исключением по одному; F – критерий Фишера; SD – стандартное отклонение; V – число переменных в конечном регрессионном уравнении.

*Работа выполнена при поддержке гранта №19-73-20073 Российского научного фонда.*

### Литература

1. Martynova, Y.Z.; Khairullina, V.R.; Gimadieva, A.R.; Mustafin A.G. // J. Biomed. Chem. 2019, 65, 103–113.
2. Martynova, Y.Z.; Khairullina, V.R.; Biglova, Y.N.; Mustafin, A.G. // J. Mol. Graph. Model. 2019, 88, 49–61.
3. Денисов Е. Т., Денисова Т. Г. // Успехи химии, 2009. Т.78, №11. С. 1129-1155.
4. Denisov, E.T.; Denisova, T.G. (Eds.) Handbook of Antioxidants: Bond Dissociation Energies, Rate Constants, Activation Energies, and Enthalpies of Reactions, In Chemisrty/Thermodynamics; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1999; p. 312.
5. Heim, K.E.; Tagliaferro, A.R.; Bobilya, D.J. // J. Nutr. Biochem. 2002, 13, 572–584

---

## ДЕЙСТВИЕ ФЕНОЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ НА АПОПТОЗ В НОРМАЛЬНЫХ И ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТКАХ

Миль Е.М., Бинюков В.И., Албантова А.А., Володькин А.А., Матиенко Л.И., Голощанов А.Н.  
ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
matienko@sky.chph.ras.ru

Целью исследования явилось изучение действия антиоксидантов (АО) фенозана калия (PhK) и анфена натрия (ANa) на механизмы модуляции апоптоза и репарации клеток методами флуоресцентной микроскопии и атомно силовой микроскопии (АСМ), а также сопоставление этих данных с биохимическими показателями на модели спленоцитов и суспензии клеток карциносаркомы Льюис. Показано, что в спленоцитах регистрируется как собственная флуоресценция (кофактор FAD) при облучении 488, так и иммунофлуоресценция (флуорофор Аннексин 5-FITC) - NADPH оксидазный комплекс, генерирующий супероксид и пероксид водорода для защиты от бактерий и микроорганизмов. Показано, что апоптоз клеток, вызванный анфеном натрия ANa и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> сопровождается симбатным увеличением FAD и NADPH в спленоцитах. При этом, в опухолевых клетках и в спленоцитах опухоленосителей количество FAD оказалось в 2-3 раза выше, чем в нормальных, и, возможно, характеризует особенности опухолевого процесса. Методом конфокальной микроскопии обнаружено, что анфен натрия ANa в сочетании с H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> стимулировал апоптоз в 80-100% клеток карциносаркомы Льюис, а в спленоцитах здоровых животных лишь 15% клеток, готовых к апоптозу, что может служить полезным свойством антиоксиданта как перспективного нетоксичного противоопухолевого соединения.

Другой фенольный антиоксидант фенозан калия PhK (10<sup>-4</sup>М), препятствовал апоптозу клеток спленоцитов (5-7% в контроле и 1% с PhK), что согласуется с его репаративными, радиопротекторными и другими положительными свойствами. Отмечается прогностическое значение изменения уровня антиапоптозного белка bcl-2, регулятора апоптоза: снижение уровня bcl-2 в случае анфена натрия (апоптоз) и повышение его уровня при воздействии фенозана калия (репарация). В то же время эти антиоксиданты, как и ресвератрол, обладают антистрессовыми свойствами, что обнаружено в модельных экспериментах на животных и растениях. Впервые обнаружено также, что ресвератрол стимулирует образование субпопуляции маленьких подвижных митохондрий, отвечающих за выработку АТФ.



---

## АНТИОКСИДАНТ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО РЯДА ИЗМЕНЯЛ СТРУКТУРУ МЕМБРАН МИТОХОНДРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЛИСТЬЕВ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА

**Неврова О.В., Герасимов Н.Ю., Жигачева И.В., Генерозова И. П.\*, Голощапов А.Н.**

Институт Биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,

\*Институт Физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, n.yu.gerasimov@gmail.com

Окислительные процессы, в которых митохондрии играют ключевую роль, оказывают принципиальное влияние на жизнедеятельность растительных клеток. В процессе окислительного фосфорилирования на мембранах митохондрий образуются супероксид, пероксид водорода и свободные радикалы. Окисление липидов, вызванное накоплением активных форм кислорода (АФК), уменьшает количество ненасыщенных жирных кислот в липидах мембран клеток. Изменение структурно-функциональных характеристик мембран приводит к изменению микровязкости липидного бислоя.

Вместе с тем АФК могут разрушать липиды, вызывая патологические нарушения в мембранах, тем самым, приводя, вероятно, к митохондриальным дисфункциям и запуская процессы клеточного старения. Процесс здоровой работы клетки зависит от баланса между образованием АФК и поддержанием их на относительно низком уровне. В присутствии антиоксидантов через регуляцию скорости пероксидного окисления липидов мембранами может достигаться нормальный гомеостаз клетки.

В качестве растительного антиоксиданта полифенольного ряда в работе было рассмотрено действие ресвератрола на структуру мембран митохондрий, выделенных из листьев проростков гороха в норме. Показано, что ресвератрол в физиологических ( $5 \cdot 10^{-6}$  М) и сверхмалых ( $5 \cdot 10^{-14}$  М) концентрациях изменял микровязкость и структуру липидного бислоя мембран.

По-видимому, данный антиоксидант путем изменения структуры липидного окружения мембранных белков, изменяет их активность и, таким образом, влияет на активность и функции митохондрий. В областях концентраций между физиологическими и сверхмалыми не было обнаружено никаких изменений, т.е. наблюдалась «мертвая зона». Кроме того, было выявлено, что ресвератрол в физиологических концентрациях сдвигает термоиндуцированный структурный переход в область более низких температур, что может мешать нормальной регуляции естественных процессов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КУМАРИНА

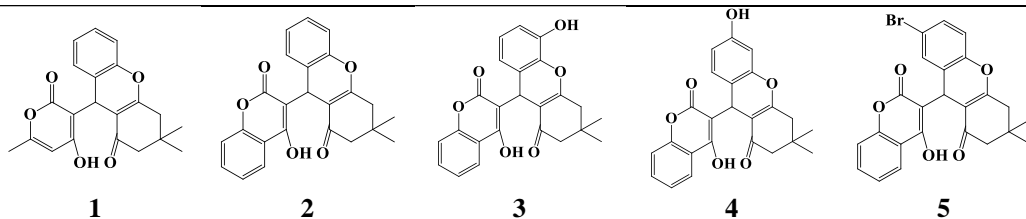
Осипова А.Д.<sup>1</sup>, Половинкина М.А.<sup>2</sup>, Осипова В.П.<sup>2</sup>, Пчелинцева Н.В.<sup>3</sup>, Береберова Н.Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, Астрахань,  
osipova\_nd95@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный университет им.  
Н.Г. Чернышевского, Саратов

Кумарины являются вторичными метаболитами растений и широко распространены в природе, поэтому их производные выступают в качестве ключевых структур в органической и медицинской химии благодаря разнообразным фармакологическим свойствам. В работе изучена антирадикальная и восстанавливающая активность новых производных 2Н-хромен-2-она с использованием различных тестовых систем. В реакции со стабильным 1,1-дифенил-2-пикрилгидразильным радикалом (ДФПГ-тест) функционально-замещённые соединения **1-5** не показывают заметную антирадикальную активность, несмотря на наличие гидроксильных групп, способных выступать в качестве систем переноса атомов водорода. Ингибирующее действие в отношении одной из активных форм кислорода – нитроксильного радикала – установлено только для соединений **3** и **4**, тогда как производные **1**, **2** и **5**, напротив, промотируют образование NO-радикала на 5-19%.



	1	2	3	4	5
ДФПГ, %	5.88 ± 0.02	6.07 ± 0.02	4.84 ± 0.01	неактивно	3.12 ± 0.01
TEAC <sub>CUPRAC</sub>	0.22 ± 0.03	неактивно	неактивно	неактивно	неактивно
TEAC <sub>FRAP</sub>	0.74 ± 0.04	0.28 ± 0.08	0.74 ± 0.04	1.06 ± 0.03	0.27 ± 0.07
NO-радикал, % ингибирования	-5.03 ± 0.01	-18.91 ± 0.03	19.47 ± 0.04	32.11 ± 0.05	-4.81 ± 0.04

Для выявления способности соединений **1-5** выступать в роли доноров электронов, изучена их активность в CUPRAC- и FRAP-тестах по способности восстанавливать ионы Cu<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>, соответственно. Результат выражен в эквивалентах стандарта – тролокса, активность которого принята за единицу. Восстанавливающая активность в CUPRAC-тесте установлена только для соединения **1**, несмотря на сходство исследованных структур. Во FRAP-тесте большую активность проявляют также соединения **1** и **3**, активность, сравнимую с тролоксом, демонстрирует только производное **4**. Данные методы исследования являются непрямими, полученные результаты не всегда экстраполируются на живые системы, как и было нами установлено на примере модельной системы пероксидного окисления липидов гомогената печени тилапии, моделирующей природные биохимические процессы в организме, в которой новые производные 2Н-хромен-2-она **1-5** показали пролонгированное антиоксидантное действие *in vitro* [1].

Таким образом, наибольшую антиоксидантную активность в отношении NO-радикала и восстанавливающую активность во FRAP-тесте демонстрирует соединение **4**, предположительно, за счёт способности образования более стабильных резонансных форм, но для установления механизма антиоксидантного действия необходимо проведение дополнительных исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-03-00446

Литература:

Осипова В.П., Половинкина М.А., Осипова А.Д. и др. *МедХим-Россия*, 2021, 530.

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 2,5-БЕНЗОДИАЗОЦИН-1(2H)-ОНА

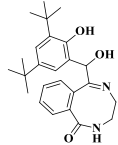
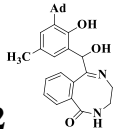
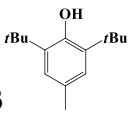
Половинкина М.А.<sup>1</sup>, Осипова А.Д.<sup>2</sup>, Осипова В.П.<sup>1</sup>, Великородов А.В.<sup>3</sup>, Береберова Н.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, m.hahaleva@astu.org

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, Астрахань

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет, Астрахань

Современная медицинская химия направлена в основном на разработку новых биологически активных соединений, содержащих преимущественно привилегированные структуры гетероциклических каркасов. Азотсодержащие восьмичленные бензоконденсированные диазоцины являются редкими гетероциклическими соединениями, обладающими разнообразными видами биологической активности, поэтому они часто выступают в качестве скаффолд-структур для создания новых потенциальных терапевтических препаратов. В связи с этим, в работе получены новые фенолсодержащие производные 2,5-бензодиазоцин-1(2H)-она **1** и **2** [1] и изучена их антиоксидантная активность в сравнении с известным антиоксидантом ионолом (**3**).

			
ДФПГ, %	8.4 ± 0.02	12.7 ± 0.18	92.3 ± 0.11
TEAC <sub>CUPRAC</sub>	0.29 ± 0.02	0.38 ± 0.02	1.10 ± 0.03
TEAC <sub>FRAP</sub>	0.64 ± 0.04	0.54 ± 0.01	0.94 ± 0.04
Fe <sup>2+</sup> хелатирующая активность, %	62.7 ± 0.03	54.3 ± 0.02	14.9 ± 0.02

В реакции со стабильным 1,1-дифенил-2-пикрилгидразильным радикалом (ДФПГ-тест) установлена низкая антирадикальная активность соединений **1** и **2**, в сравнении с ионолом. В CUPRAC- и FRAP-тестах, основанных на способности соединений выступать в роли доноров электронов, показано, что фенольные гетероциклические производные **1** и **2** проявляют способность восстанавливать ионы Cu<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>, но их активность в 2.5-3 раза ниже активности стандартного соединения – водорастворимого аналога витамина E – тролокса, активность которого принята за единицу. Оценены металлхелатирующие свойства соединений **1-3** и установлена их способность выступать хелаторами переходных металлов, катализирующих реакции распада LOOH с образованием активных форм кислорода, в том числе гидроксильного радикала (<sup>•</sup>OH), ингибируя тем самым металлозависимые радикальные процессы. Однако надо отметить, что железохелатирующая активность соединений **1** и **2** практически в 4 раза выше активности ионола, но в сравнении с известным хелатирующим агентом ЭДТА, активность которого принята за 100%, фенольные производные **1** и **2** обладают в 2 раза меньшей способностью связывать ионы металлов.

Таким образом, исследованы антиоксидантные свойства новых фенольных производных 2,5-бензодиазоцин-1(2H)-она с использованием различных модельных систем. Несмотря на наличие пространственно-затруднённого фенольного фрагмента в структурах производных, на данных тестовых системах соединения не проявляют выраженных антиоксидантных свойств, что свидетельствует о необходимости проведения дополнительных исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (в рамках государственного задания), рег. № 122020100328-1.*

### Литература:

1. Velikorodov A.V., Stepkina N.N., Osipova V.P., et. al. *Russ. J. Org. Chem.* 2021, 57, 575-581.

---

## NEW WATER SOLVENT COMPLEXES OF GOSSIPOL PRODUCTS, THEIR PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND STRUCTURES

**Rezhopov K.Zh., Alimbayeva Sh.B.\***

A.S.Sadykov Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Tashkent, r\_k\_zh@bk.ru

\*National University of Uzbekistan, Tashkent

It is known that gossypol is a unique plant-derived natural polyphenolic compound containing six phenol hydroxyl groups and two symmetrically located binaphthyl systems and an aldehyde group with a high reactivity. To date, several gossypol derivatives have been synthesized by modification (modification) of these aldehyde groups. From this point of view, the consistent study, synthesis, and extraction of a number of gossypol derivatives is undoubtedly of interest, both theoretically and practically. The structural properties of natural compounds, including gossypol, and the chemical modification of their structure can increase the effectiveness of drugs, and it is currently one of the most pressing problems.

In our research work, that is, continuing to study the derivatives of gossypol, we first synthesized 3 new azocyses of gossypol imines with aminophenol, aminobenzoic acid, and sodium sulfacyl, and obtained water-soluble complexes with N-polyvinylpyrrolidone.

Complexes of azoimine derivatives of freshly obtained gossypol are brightly colored powders that are well soluble in water.

UV-spectroscopic analysis of the obtained compounds revealed the absorption peaks in the region (range) of 465-475 nm, which is most characteristic for water-soluble complexes. The condition and intensity of the absorption maximum do not depend on the polarity of the solvent, and this indicates that they are present in almost the same tautomeric form.

UV spectroscopy is often used to describe complexes of physiologically active compounds with polymers used in medical practice, with insignificant changes from the values set for the maximum absorption of the complex, indicating that the polymer interacts with the chemical compound and no changes in the structure of the compound are observed.

A comparative IR spectroscopic study was performed to confirm the structures of azoimine derivatives of gossypol with N-polyvinylpyrrolidone.

Thus, N-polyvinylpyrrolidone is associated with the polyfunctionality of groups of gossypol prone to ligand reactions in the production of azoimine derivative complexes; hydrogen bonds are formed at the expense of oxygen of the cycloamide group, the mesomeric structures of N-polyvinylpyrrolidone are responsible for electrostatic donor-acceptor interactions.

The following main oscillation frequencies were observed in the IR spectrum of the obtained substances.

The fact that the valence oscillation frequencies of the OH-, NH- groups at 3393.61 cm<sup>-1</sup> are manifested in the broad shoulder position (spread) indicates that these compounds have intermolecular and intramolecular hydrogen bonds, the valence oscillation frequencies of the C=O and C-N groups in the molecule differ and the fact that the intensity of the oscillation frequency of the O=S=O group decreases sharply in the spectrum of matter, we can conclude that these groups also contribute to intermolecular interactions.

*The research was carried out at the Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan at the expense of the State Budget allocated by the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan.*

---

## ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОНОФЕНОЛЬНОГО АНТИОКСИДАНТА ТС-13

Серых А.Е., Грицык О.Б., Храпова М.В., Меньщикова Е.Б.

ФГБНУ ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, rasiel1996@yandex.ru

В настоящее время доказано, что активные формы кислорода (АФК) играют важную регуляторную роль в опухолевых процессах. Так, например, в клетках опухолей выявляется повышенный уровень образования АФК, которые активируют механизмы выживания этих клеток, обеспечивая их химиорезистентность, и, соответственно, устойчивость к химиотерапии. Материалы и методы. В данной работе на модели перевиваемой карциномы легких Льюис (LLC) у мышей было исследовано действие оригинального синтетического фенольного антиоксиданта 3-(3'-трет-бутил-4'-гидроксифенил)-пропилтиосульфоната натрия (ТС-13) на рост опухоли и онколитический эффект доксорубина. Животные, которые были разделены на 12 групп, в разных сочетаниях получали внутрижелудочно раствор ТС-13 (100 мг/кг массы тела), суспензию препарата сравнения трет-бутилгидрохинона (tBHQ, 100 мг/кг массы тела) и внутривентриально раствор цитостатика доксорубина гидрохлорида (кумулятивная доза 8 мг/кг массы тела), на фоне внутримышечной инокуляции взвеси клеток LLC или без нее.

Результаты. У мышей, получавших ТС-13 с питьевой водой, на 21-й день после инокуляции клеток LLC наблюдалось торможение роста опухоли на 35,83%. Морфологическое изучение легкого показало у данной группы уменьшение площади метастазов и увеличение количества альвеолярных макрофагов; в печени значимо увеличивалось содержание клеток Купфера и наблюдалось снижение митотической активности, в селезенке отмечалась развитая белая пульпа с крупными фолликулами и выраженными герминативными центрами. В опухолевой ткани отмечалось наличие сливных очагов некроза, митозы единичные, не в каждом препарате, сохранялся выраженный полиморфизм ядер, при этом отмечалась выраженная конденсация хроматина, уменьшение ядерно-цитоплазматического индекса. Наблюдались обширные скопления апоптотических телец. Похожими изменениями характеризовалась и группа с введением tBHQ, однако торможение роста опухоли составило только 30,5%. Внутривентриальные инъекции доксорубина в дозе 8 мг/кг сопровождалось торможением роста опухоли на 53,7%, снижением количества и объема метастазов в легких, но отмечалась неравномерность изменений у животных в группе. При этом в данной группе у всех животных в легких были выраженные дегенеративные изменения в клетках опухоли; в печени наблюдалась периваскулярная лейкоцитарная инфильтрация, митотическая активность в клетках сохранялась высокой; в селезенке отмечалась умеренная гиперплазия белой пульпы и обеднение красной пульпы, вплоть до оголения стромы. Совместное назначение ТС-13 и доксорубина сопровождалось торможением роста опухоли на 59,52%; при этом отмечены: в лёгких - достоверное снижение площади ателектазов при микроскопическом исследовании, скопления опухолевых клеток в небольшом количестве присутствуют в основном паравазально, большая часть межальвеолярных перегородок сопоставима с таковыми у животных интактной группы; отсутствие митотической активности в печени; гиперплазия белой пульпы в селезенке с значительным увеличением герминативных центров. Также показано, что использование антиоксиданта ТС-13 на фоне введения доксорубина снижает количество митозов в опухолевых тканях достоверно эффективнее, чем монотерапия доксорубином ( $p=0,0277$ ; по критерию Краскела-Уоллиса)

Заключение. Таким образом, в настоящей работе обнаружено, что синтетический монофенольный антиоксидант ТС-13 не только сам по себе угнетает опухолевый рост, но и усиливает действие доксорубина. Результаты показывают перспективность изучения ТС-13 для борьбы с химиорезистентностью опухолей.



---

## **ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ ЭЛЮЭНТА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ЛИПИДОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Смирнова А.Н., Швыдкий В.О., Шишкина Л.Н.**

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
Sanya-Bosanya@yandex.ru

Биологическая активность растительных объектов обусловлена наличием в них биологически активных веществ (БАВ). Для их экстракции используются растворители разной полярности, чаще всего водно-спиртовые смеси с разным соотношением компонентов. Целью данной работы явилось оценить распределение БАВ в разных растительных объектах в процессе извлечения из них липидов.

Объектами исследования явились цветки календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), плоды облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), головки чеснока (*Allium sativum* L.) и листья и сок алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) 2-х летнего возраста.

В процессе экстракции липидов по методу Фолча в модификации Кейтса БАВ экстрагируются вместе с липидами. При этом можно предполагать, что в хлороформном растворе с липидами находятся гидрофобные вещества, а в водно-метанольном – более гидрофильные соединения.

Проверка этого предположения проводилась с помощью УФ-спектрометрии с использованием математической обработки спектров по методу Гаусса. Обнаружено, что полярность растворителя влияет на межфазное распределение соединений, в частности, флавоноидов и каротиноидов, в зависимости от их химической структуры.

Прежде всего стоит отметить, что, согласно предыдущим нашим работам, предварительная экстракция растительного сырья полярным элюэнтom приводит к уменьшению доли полярных фракций липидов и наличия в них БАВ. А в соответствии с литературными данными набор БАВ зависит от их источника. В водно-метанольных растворах из цветков календулы и плодов облепихи присутствуют полосы поглощения в диапазоне  $\lambda$  от 250 нм до 380 нм, что свидетельствует о наличии в них флавоноидов. Однако в области  $\lambda > 400$  нм отсутствуют полосы поглощения, характерные для растворов каротиноидов. Это подтверждает и отсутствие жёлтой или оранжевой окраски в смеси полярных растворителей. Хлороформные растворы липидов из цветков календулы и плодов облепихи окрашены и имеют как полосы поглощения в диапазоне  $\lambda$  от 250 нм до 380 нм, так и в области  $\lambda > 400$  нм. Хлороформный раствор липидов из листьев алоэ имел насыщенную зелёную окраску, обусловленную высоким содержанием хлорофиллов ( $\lambda > 450$  нм). Хлороформному раствору липидов из сока алоэ присутствие хлорофиллов в следовых количествах придаёт светло-жёлто-зеленую окраску. УФ-спектры водно-метанольных растворов характеризуются значительно меньшим набором БАВ.

Анализ УФ-спектров растворов из головок чеснока свидетельствует о наименьшем наборе гидрофобных и гидрофильных БАВ среди исследованных объектов.

Таким образом, оценка распределения БАВ и фосфолипидов, имеющих важное значение в регуляции метаболизма, в разных растительных объектах в процессе извлечения из них липидов позволяет сделать вывод, что экстракция неполярными растворителями (например, масляные экстракты) способствует более полному извлечению БАВ и метаболически важных фосфолипидов, вместе с флавоноидами и другими соединениями, обладающих антиоксидантным действием, по сравнению с обработкой сырья полярными элюэнтами.

*Работа выполнена в рамках гос. задания Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (тема № 44.4, гос. № темы: 0084-2019-0014).*

---

## НЕКОВАЛЕНТНЫЕ НАНОГЛИКОКОНЬЮГАТЫ ФЛАВОНОИДОВ И НАНОБИОКОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ: СТРОЕНИЕ, ВСТРЕЧНЫЙ СИНТЕЗ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ И БИМЕДИЦИНСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Сухов Б.Г.

ФГБУН Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск,  
boris\_sukhov@mail.ru

В докладе будет обсуждаться комплекс физико-химических данных о том, что в растениях и других живых системах водорастворимые полисахариды и практически нерастворимые в воде флавоноиды могут существовать в виде нативных, хорошо растворимых в воде, нековалентных наногликоконъюгатов флавоноидов. Нековалентное конъюгирование в водных растворах сопровождается сдвигом потенциального кето-енольного равновесия от наблюдаемых исключительно енольных форм флавоноидов, дополнительно стабилизированных внутримолекулярной водородной связью, в сторону впервые детектируемых комплексом физико-химических методов, ранее не известных 1,2-дикето-форм. Эти обнаруженные высокорекреационноспособные формы заставляют обратить на себя внимание как на один важнейший, не учитываемый ранее, канал реализации богатой биологической активности флавоноидов, а также как на новый путь обширной синтетической модификации флавоноидов по 1,2-дикето-группам, например, различными циклизациями.

Будет обсуждаться встречный синтез подобных наногликоконъюгатов, а также их использование для получения разнообразных гибридных неорганно-органических нанобиокомпозигов. Значительное внимание в докладе будет уделено особенностям строения, синтетическому и разнообразному биомедицинскому потенциалу новых гибридных неорганно-органических нанобиокомпозиговых материалов на основе нековалентных наногликоконъюгатов флавоноидов.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ (грант 22-25-00859) и РФФИ (грант 20-53-44002\_Монг\_а).*

### Литература:

- [1] Трофимов Б.А. и др. // Докл. АН. 2007. Т. 417, № 1. С. 62.
- [2] Александрова Г.П. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2010. № 12. С. 2261.
- [3] Лесничая М.В. и др. // Докл. АН. 2011. Т. 440, № 5. С. 639.
- [4] Petrova M.V. et al. // Appl. magn. res. 2011. V. 41, № 2-4. P. 525.
- [5] Shurygina I.A., Sukhov B.G., Fadeeva T.V. et al. // Nanomed.: NBM. 2011. V. 7, № 6. P. 827.
- [6] Погодаева Н.Н., Медведева С.А., Сухов Б.Г. и др. // Хим. природ. соед. 2012. № 5. С. 649.
- [7] Gasilova E.R. et al. // J. phys. chem. B. 2013. V. 117, № 7. P. 2134.
- [8] Сухов Б.Г. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2014. № 9. С. 2189.
- [9] Шурыгина И.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79, № 2. С. 280.
- [10] Папкина А.В. и др. // Докл. АН. 2015. Т. 461, № 2. С. 239.
- [11] Родионова Л.В. и др. // Журн. общ. хим. 2015. Т. 85, № 2. С. 314.
- [12] Фадеева Т.В. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79, № 2. С. 297.
- [13] Погодаева Н.Н. и др. // Хим. природ. соед. 2016. № 4. С. 503.
- [14] Lesnichaya M.V. et al. // Carbohydr. polym. 2017. V. 175. P. 18.
- [15] Khutsishvili S.S. et al. // J. clust. sci. 2017. V 28, No 6. P. 3067.
- [16] Lesnichaya M.V. et al. // J. lumin. 2019. V. 211. P. 305.
- [17] Lesnichaya M.V. et al. // IET nanobiotech. 2020. V. 14, No 6. P. 519.
- [18] Lesnichaya M.V. et al. // IET nanobiotech. 2021. V. 15, No 7. P. 585.
- [19] Khutsishvili S.S. al. // IEEE trans. magn. 2021. V. 57, No. 10. Article 5200309.
- [20] Perfileva A.I. et al. // Nanomaterials. 2021. V. 11. Article 2274.
- [21] Perfileva A.I. et al. // Int. j. mol. sci. 2021. V. 22. Article 4576.
- [22] Lesnichaya M.V. et al. // Coll. surf. B. biointerf. 2021. V. 197. Article 111381.

## АЛКИЛИРОВАНИЕ СЕЗАМОЛА КАМФЕНОМ

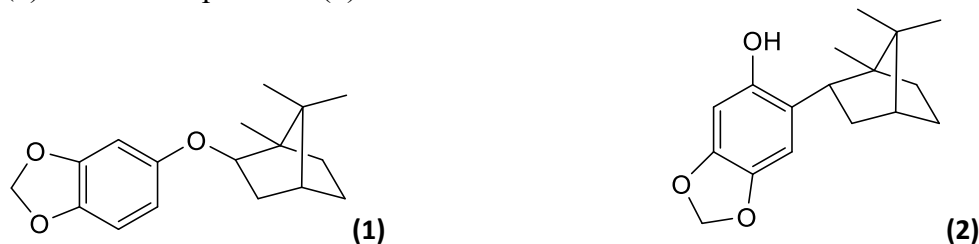
**Федорова И.В., Чукичева И.Ю., Шевченко О.Г.\*, Кучин А.В.**

Институт химии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар,  
fedorova-iv@chemi.komisc.ru

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар

Сезамол – природное фенольное соединение, содержащееся в семенах кунжута и кунжутном масле. Сезамол обладает заметным антиокислительным действием, считается основным активным и мощным компонентом кунжутного масла, который играет роль в его терапевтических эффектах. Известно об антипролиферативных, противовоспалительных и противораковых свойствах сезамола [1-5]. Введение различных функциональных групп в молекулу фенолов значительно расширяет спектр их биологической активности, а также увеличивает возможности в органическом синтезе. Особого внимания заслуживают бициклические монотерпеноиды как источник ключевого структурного блока или в качестве одного из фармакофорных компонентов биологически активных молекул [6-8].

В представленной работе изучена возможность введения терпенового фрагмента в молекулу природного фенола путем алкилирования сезамола камфеном. Алкилирование проводили в присутствии гетерогенных кислотных катализаторов (глина KSF, ФИБАН К-1, Amberlist 15, Amberlist 36 Dry) в среде различных растворителей (хлористый метилен, гексан и гептан). Выявлены закономерности протекания реакций в зависимости от температуры реакционной смеси, соотношения исходных реагентов, катализатора. Определены условия для селективного получения продуктов *O*- (1) и *C*-алкилирования (2) сезамола.



Основные продукты алкилирования выделены и охарактеризованы с использованием спектральных методов исследования. Проведена первичная оценка токсичности, мембранопротекторной и антиоксидантной активности синтезированных соединений на моделях *in vitro*.

### Литература:

1. Evgeny V. Buravlev, Oksana G. Shevchenko, Kyrill Yu. Suponitsky. *Chem. Biodiversity*. 2021. V. 18. Iss. 6. e2100221. DOI: 10.1002/cbdv.202100221
2. P.Y. Chu, S.P. Chien, D.Z. Hsu, M.Y. Liu. *Food Chem. Toxicol.* 2010. V.48. No. 7. P. 1821–1826. DOI: 10.1016/j.fct.2010.04.014
3. Yu-Chi Hou, Shang-Yuan Tsai, I-Ling Liu, Chung-Ping Yu, Pei-Dawn Lee Chao. *J. agricult. food chem.* 2008. Vol. 56. No. 20. P. 9636-9640. DOI:10.1021/jf801453f
4. A.F. Majdalawieh, Z.R. Mansour. *Eur. J. Pharmacol.* 2019. 855. P. 75–89.
5. M.T. Saleem, M.C. Chetty. S. Kavimani. *J. cardiovascular disease research*. 2013. V. 4. No. 3. P. 177–181. DOI:10.1016/j.jcdr.2013.07.001
6. S.A. Popova, O.G. Shevchenko, I.Y. Chukicheva, A.V. Kutchin. *Chem. Biodiversity*. 2019. 16, e1800317. DOI: 10.1002/cbdv.201800317.
7. M.B. Plotnikov, O.I. Aliev, A.V. Sidekhmenova, E.V. Popova et al. *Pharm. Chem. J.* 2018. V. 51. No. 10. P. 863-866. DOI 10.1007/s11094-018-1705-9
8. Плотникова Т.М., Чернышева Г.А., Смольякова В.А., Щетинин П.П. и др. *Бюл. эксперим. биол. и мед.* 2018. Т. 165, № 5. С. 601-604.



## SYSTEMS OF SUPRAMOLECULARS WITH SOME GETHERRYCHALICAL BIOLOGICAL FALSE METHODS

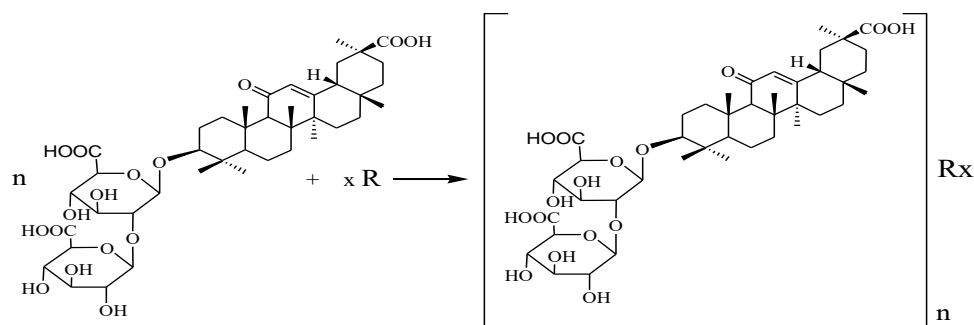
**Khurramova F.N., Matchanov A.D.**

Institute of Bioorganic Chemistry named after O.S. Sodikov of the Academy of Sciences of the Republic  
of Uzbekistan, Tashkent, khurramova1988@mail.ru

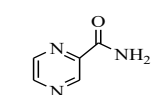
Treatment of tuberculosis with synthetic drugs can lead to side effects. The use of licorice root is one of the most promising areas in the development of safe and effective antiviral or antimicrobial agents. Recent studies have shown that glycyrrhizic acid and its salts in licorice can be used as an antidote in the treatment of tuberculosis.

Studies have shown that the biologically active substance glycyrrhizic acid (GA) and glycyrrhizic acid monoammonium salt (GAMAS) can be used as anti-tuberculosis drugs in supramolecular complexes. The development of effective and inexpensive drugs based on sweeteners can significantly improve the pharmaceutical market of our country.

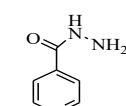
Supramolecular complexes of isoniazid, rifampicin, pyrazinamide, ethambutol hydrochloride, lomefloxacin and levofloxacin in different ratios with GA and GAMAS were obtained as the object of study.



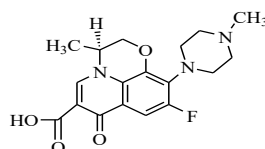
Бу ерда:  $n=4,6$ ;  $x = 0.5, 1, 1.5, 3.9, 5$



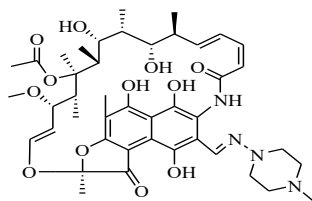
пиразинамид



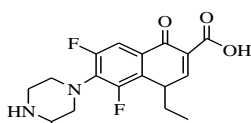
изониазид



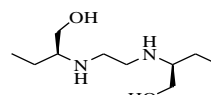
левофлоксацин



рифампицин



лемефлоксацин



этамбутолгидрохлорид

It was found that the obtained supramolecular complexes have some physical and chemical magnitudes, liquefaction temperatures of 175-185 °C and good solubility in polar organic solvents (alcohol: water). Their structures were analyzed based on the results of UV and IR spectra. Based on the change in the basic oscillation frequencies of the functional groups in the IR spectra of the initial substances, the presence of hydrogen bonds in the formation of molecular complexes was determined.  $\nu(\text{OH})=3318\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{CH}, \text{CH}_2, \text{CH}_3)=2925\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{C}=\text{O}, \text{C}=\text{C})=1657\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{COO}^-)=1593\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{CH}_2, \text{CH}_3)=1456\text{cm}^{-1}$ ,  $1417\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{NH}_4^+)=1366\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{CH})=1212\text{cm}^{-1}$ ,  $1169\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{C}-\text{O}-\text{C}, \text{C OH})=1043\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{=CH})=981\text{cm}^{-1}$ . The theological properties and biological activities of the obtained complexes are being studied.

---

## ВЛИЯНИЕ ОРИГИНАЛЬНОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО МОНОФЕНОЛА ТС-13 НА АКТИВНОСТЬ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ KEAP1/NRF2/ARE И ПОВРЕЖДЕНИЕ МИОКАРДА ПРИ ИШЕМИИ/РЕПЕРФУЗИИ

Кожин П.М., Семенцов А.С.\*, Храпов С.Е., Ромаш Л.П., Храпова М.В., Меньщикова Е.Б.  
ФГБНУ ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск,  
Ipromakh@centercem.ru

\*НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН,  
Томск

Главная причина смертности в мире – сердечно-сосудистые заболевания, наиболее фатальной из которых является ишемическая болезнь сердца. В качестве ключевого механизма повреждения миокарда при ишемии/реперфузии выступает развитие окислительного стресса, поиск способов нивелирования его деструктивного действия не теряет актуальности. Наряду с исследованием соединений, обладающих непосредственным антиоксидантным действием, необходимо рассматривать возможность «непрямых» антиоксидантных воздействий, в том числе на редокс-чувствительную сигнальную систему Keap1/Nrf2/ARE. Целью настоящего исследования послужило изучение кардиопротективного эффекта индукторов системы Keap1/Nrf2/ARE при моделировании длительной ишемии/реперфузии *in vivo*. Материал и методы. В качестве индукторов системы Keap1/Nrf2/ARE использовали оригинальный синтетический гидрофильный монофенол 3-(3'-трет-бутил-4'-гидроксифенил) пропилтиосульфонат натрия (ТС-13) и препарат сравнения трет-бутилгидрохинон (tBHQ). Самцы крыс линии Вистар в течение 7 суток получали раствор ТС-13 (100 мг/кг, с питьевой водой) или tBHQ (100 мг/кг, в 20%-м растворе (2-гидроксипропил)- $\beta$ -циклодекстрина, внутривентрикулярно), животные групп сравнения – соответствующие растворители. Через 1 сут после последнего приема препаратов *in vivo* у животных всех четырех групп моделировали локальную ишемию (45 мин, окклюзия левой коронарной артерии) и реперфузию (120 мин) сердца. В течение всего времени ишемии и во время реперфузии регистрировали ЭКГ, по окончании реперфузии сердце извлекали, определяли размер зоны некроза левого желудочка после окрашивания 2,3,5-трифенилтетразолия хлоридом. Изменение экспрессии в ткани миокарда мРНК генов *Nfe2l2*, *Nqo1*, *Hmox1*, *Gstp1*, *Rela* и *Nfkb2*, кодирующих соответственно Nrf2, NAD(P)H:хиноноксидоредуктазу 1, гемоксигеназу 1, глутатион-S-трансферазу P1, субъединицы p65 и p100 транскрипционного фактора NF- $\kappa$ B, определяли методом TaqMan ПЦР в режиме реального времени. Результаты и их обсуждение. При моделировании длительной ишемии/реперфузии группы крыс, получавших ТС-13 и tBHQ, по величине зон некроза и количеству нарушений ритма не отличались от соответствующих контрольных групп. Предварительное введение животным tBHQ не изменяло экспрессию исследуемых генов в ткани сердца. Назначение ТС-13 сопровождалось увеличением содержания мРНК гена *Nrf2* (в 7,64 раза) и подконтрольных ему генов *Nqo1* (в 6,46 раза) и *Hmox1* (в 3,63 раза); экспрессия генов *Gstp1*, *Rela* и *Nfkb2* не отличалась от соответствующих величин группы контроля; содержание мРНК генов *Nfe2l2*, *Nqo1*, *Hmox1*, *Rela* и *Nfkb2* было больше, чем у животных, получавших tBHQ (статистически значимо или на уровне тенденции), соответственно в 16,23, 4,44, 2,68, 3,17 и 2,64 раза. Заключение. Отсутствие антиаритмического и инфаркт-лимитирующего эффекта индукторов системы Keap1/Nrf2/ARE оригинального монофенола ТС-13 и прототипического активатора tBHQ при моделировании *in vivo* длительной ишемии/реперфузии сердца крысы позволяет предположить, что в данных условиях стимуляция Nrf2-регулируемых процессов не оказывает значимого кардиопротективного действия.

## ВЛИЯНИЕ УЧЕТА СОЛЬВАТАЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ АНТИРАДИКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Фенин А.А.

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
fenin.a.a@muctr.ru

Квантово-химическое моделирование занимает важное место в исследовании антирадикальных свойств фенольных соединений. Оно позволяет выявить механизм этих реакций и прогнозировать активность различных соединений.

По первичным стадиям реакции фенольных соединений с радикалами можно разделить на три группы: 1 – перенос атома водорода между реагентами; 2 – образование радикала-аддукта; 3 – перенос электрона. Сопоставление расчетных термодинамических характеристик этих реакций позволяет выбрать наиболее выгодный вариант. При проведении расчетов традиционно используются «голые» реагирующие частицы, в то время как в реальности каждая из них окружена сольватной оболочкой. В докладе, на примере нескольких реакций, обсуждается влияние, которое оказывает включение молекулы или молекул растворителя в окружение реагирующих частиц на результаты квантово-химических расчетов.

Первой из рассматриваемых реакций является взаимодействие супероксидного анион-радикала с кверцетином. Согласно расчетам реакции проведенным в программе «Orca» с использованием метода функционала плотности B3LYP с набором базисных функций 6-31G(d,p) данная реакция эндотермическая, что противоречит имеющимся экспериментальным данным. Переход от супероксидного анион-радикала и гидроперекисного иона к их гидратам привел к значительному изменению расчетной величины, данная реакция стала экзотермической, что соответствует эксперименту.



Рисунок 1. Моно-аквакомплексы супероксидного анион-радикала и гидроперекисного иона

Далее рассматривается взаимодействие антоцианов и антоцианидинов  $\alpha$ -гидроксиэтильным радикалом. Данное взаимодействие, согласно экспериментальным данным» должно проходить либо по реакции переноса атома водорода, либо путем переноса электрона. В тоже время, результаты квантово-химического моделирования говорили об предпочтительности реакции образования аддукта. В данном случае, соответствия экспериментальных и теоретических данных удалось достичь при использовании кластерной модели растворителей в расчетах энергии протона образующегося по реакции переноса электрона.

Таким образом, учет сольватации частиц позволяет привести в соответствие теоретические расчеты и экспериментальные данные.

## БИОЛОГИЧЕСКИ-AКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПАРА-ФЕНИЛЕН-БИС-ДЕКАГИДРОАКРИДИДИОНА-1,8

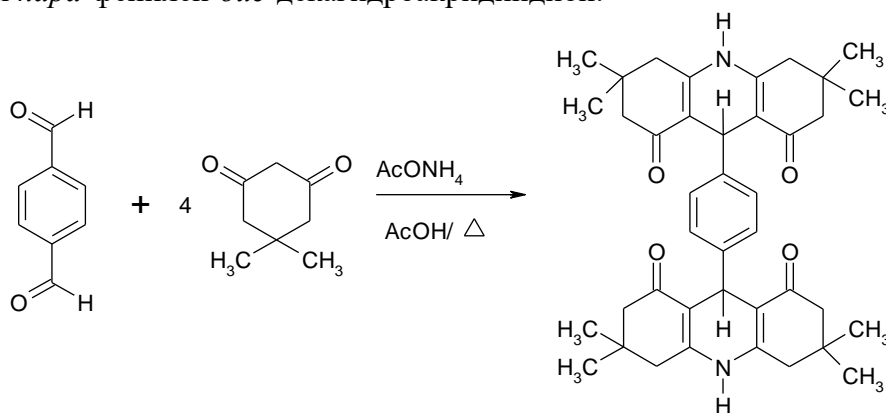
Чигорина Т.М.

ФГБОУ ВО Северо-Осетинский государственный университет им.К.Л.Хетагурова, Владикавказ, tchigorina@mail.ru

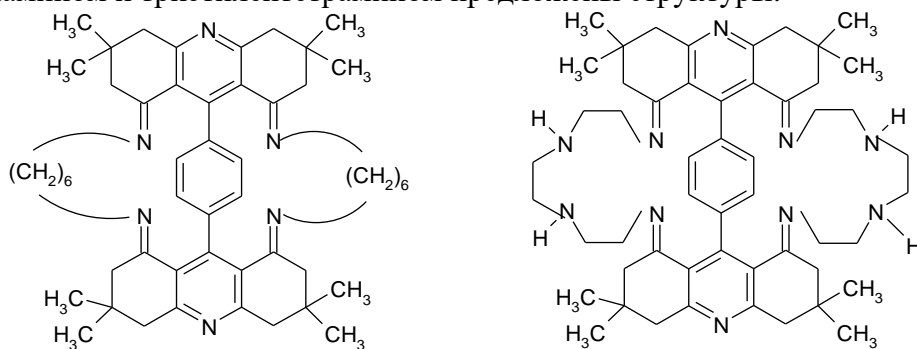
1,8-Диоксодекагидроакридины проявляют биологическую активность, и предполагается возможность их использования в качестве лазерных красителей [1, 2].

Актуальными вопросами, в настоящее время, являются синтез и разработка новых методов получения производных декагидроакридин-1,8-дионов, исключая применение сильноокислых сред, изучение каталитических превращений (гидрирование, гидроаминирование) декагидроакридин-1,8-дионов.

Реакцией конденсации терефталового альдегида с димедоном в присутствии ацетата аммония получен *para*-фенилен-бис-декагидроакридиндион.



Изучены реакции полученного соединения по карбонильным группам с бинуклеофилами. Для продуктов конденсации *para*-фенилен-бис-декагидроакридиндиона-1,8 с гексаметилендиамином и триэтилентетрамином предложены структуры:



Структуры синтезированных полизагетероциклов подтверждены методами ИК- и ЯМР  $^1\text{H}$ -спектроскопией. Проведены испытания на фармакологическую активность. В ряду синтезированных веществ обнаружены соединения, обладающие антиоксидантной, антимикробной активностью и высоким избирательным действием в отношении кишечной палочки *E.coli* 675.

### Литература:

1. Пырко А.Н. Синтез и превращения новых производных 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10—декагидроакридина-1,8-диона. // ЖОрХ, 2008. - Т. 44. - № 8. - С. 1215-1224. (A.N. Pyrko. Synthesis and transformations of new 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-decahydroacridine-1,8-dione derivatives. // Russian Journal of Organic Chemistry. - 2008. - Vol. 44. - № 8. - pp. 1215-1224).
2. Щекотихин Ю.М., Гетманенко Ю.А., Николаева Т.Г., Кривенько А.П. Синтез 9-R'-10-R-1,8-диоксодекагидроакридинов и диоксимов на их основе. // ХГС. - 2008. - № 15. - С. 1773 -1780.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В КАРБОКСИМЕТИЛХИТИНЕ В ПРИСУТСТВИИ ФЕНОЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ

Широкова Л.Н., Александрова В.А.

ФГБУН Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, shirokova@ips.ac.ru

Водорастворимое производное хитина 6-О-карбоксиметилхитин (КМХ) является нетоксичным, биоразлагаемым, совместимым с большинством биологических систем полимером. Благодаря этим свойствам, карбоксиметилхитин нашел широкое применение в пищевой промышленности, в медицине, в производстве косметики, в сельском хозяйстве, в биотехнологии.

Целью данной работы было исследование возможности получения стабильных макромолекулярных систем на основе КМХ (молекулярная масса 80000) и наночастиц серебра (НЧС). Для проведения этого исследования был использован мицеллярный раствор НЧС, полученный радиационно-химическим путем в обратных мицеллах анионного ПАВ (АОТ – бис-2-этилгексилсульфосукцинат натрия). Получение водной дисперсии НЧС из их мицеллярного раствора в изооктане связано с некоторой потерей частиц вследствие протекания побочных процессов, в частности, окисления. Учитывая это, был разработан подход, позволяющий переводить НЧС из их мицеллярных растворов в изооктане непосредственно в водный раствор полимера-КМХ путем проведения обработки ультразвуком гетерофазной системы. С целью повышения устойчивости НЧС в макромолекулярную систему вводили антиоксиданты (АО) растительного происхождения, такие как галловая кислота – 3,4,5-триоксибензойная кислота (ГК) (рис. 1а) и производное ГК – метиловый эфир галловой кислоты (МеГК) (рис. 1б). Так, для получения гетерофазной системы изооктан–вода использовали 0.5 мас. % раствор КМХ в воде, в который вводили антиоксиданты (0.5 и 1.0 мас. % по полимеру).

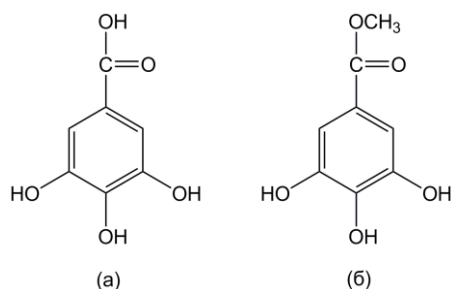


Рисунок 1. Структурные формулы галловой кислоты (а) и метилгаллата (б)

Показано, что в присутствии АО в системе КМХ-НЧС-АО, образовавшейся после сонирования, растет величина оптической плотности ( $\lambda_{\max} = 420$  нм), характерная для НЧС, в то время как в отсутствие АО наблюдалось некоторое снижение величины оптической плотности НЧС во времени. Причем, в присутствии в системе МеГК (по сравнению с ГК), отмечено значительное усиление эффекта стабилизации НЧС в матрице КМХ, что обусловлено различной природой заместителей в карбоксильной группе. Поскольку, группа  $-\text{CH}_3$  проявляет выраженный электронодонорный характер, то наличие такого заместителя в МеГК способствует усилению плотности заряда на карбониле, который, как известно, участвует в стабилизации наночастиц металлов в различных макромолекулярных системах.

Таким образом, показано, что эффективная стабилизация НЧС в матрице производного хитина 6-О-карбоксиметилхитина может быть достигнута введением в качестве антиоксиданта метилового эфира галловой кислоты.

*Работа выполнена в рамках госзадания ИНХС РАН по теме 3 «Материалы, нанокмозиты и адгезивы на основе полимеров: синтез, модификация, структура, свойства, создание функциональных материалов на их основе» (номер государственной регистрации 075-00660-21-00).*

---

## ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЯДА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ СОСТАВА ИХ ЛИПИДОВ

Шишкина Л.Н., Дубовик А.С., Козлов М.В., Мазалецкая Л.И., Плащина И.Г.,  
Смирнова А.Н., Швыдкий В.О.

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
shishkina@sky.chph.ras.ru

Изучению состава биологически активных веществ растений, обладающих антиоксидантными (АО) свойствами и разнообразной фармакологической активностью, закономерно уделяется огромное внимание. Как известно, АО активность БАВ существенно зависит от их взаимодействия с одними из основных компонентов биологических мембран – фосфолипидами (ФЛ). Однако детальному исследованию состава ФЛ посвящены немногочисленные работы.

Целью исследования явилось изучить взаимосвязь между физико-химическими свойствами БАВ и составом липидов в следующих растительных объектах, широко используемых в практике: цветки календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), плоды облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), листья и сок алоэ древовидного (*Aloe arborescence* Mill.) разного возраста, луковички чеснока (*Allium sativum* L.).

Анализировали следующие показатели. Липиды выделяли по методу Фолча в модификации Кейтса. Состав липидов определяли методом ТСХ с последующим спектрофотометрическим анализом количественного соотношения фракций ФЛ. Ингибирующую активность липидов изучали на модели низкотемпературного автоокисления метилолеата в тонком слое. Анализ природы БАВ, экстрагируемых вместе с липидами в процессе их выделения, осуществляли методом УФ-спектрометрии, используя математическое разложение УФ-спектров с помощью метода Гаусса. Способность липидов растительных объектов к спонтанной агрегации в водной фазе и дзета-потенциал сформированных наноразмерных частиц липидов исследовали методом динамического рассеяния света. Способность липидов растительных объектов принимать участие на разных стадиях процесса окисления оценивали с помощью компьютерного пакета программ KINS. Взаимосвязь между разными параметрами физико-химической системы регуляции перекисного окисления липидов определяли с использованием пакета программ для многофакторного анализа экспериментальных данных.

Выявлены существенные различия как обобщенных показателей состава липидов (доля ФЛ в составе общих липидов и мольное отношение [стерины]/[ФЛ]), так и количественного соотношения фракций ФЛ в зависимости от природы растительного объекта. Математическая обработка спектров позволила обнаружить особенности набора БАВ в липидах и образование ими комплексов с ФЛ. Это оказывает влияние на ингибирующую эффективность растительных липидов, их способность к спонтанной агрегации в водной среде и электрофоретическую подвижность образованных наноразмерных частиц. Так, высокая ингибирующая эффективность выявлена у липидов из листьев алоэ 7-ми летнего возраста. Самые мелкие наночастицы ( $160 \pm 20$  нм) с низким отрицательным зарядом дзета-потенциала ( $-25.8 \pm 1.2$  мВ) сформированы липидами из луковички чеснока. При этом значения максимумов гауссиан и их интенсивность в УФ-спектрах свидетельствуют о наиболее низком содержании флавоноидов в растворе липидов из чеснока по сравнению с липидами других объектов. В липидах изученных объектов обнаружена обратная взаимосвязь между относительным содержанием в ФЛ фракций фосфатидилхолина и сфинголипидов, играющих важную роль в поддержании ламелярного строения мембран.

Работа выполнена в рамках гос. задания Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (тема 44.4, регистрационный номер 0084-2019-0014).



---

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ С ФОСФОЛИПИДНЫМИ МЕМБРАНАМИ

Ягольник Е.А.

ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, Тула

Растительные полифенолы, в первую очередь флавоноиды, способны связывать катионы металлов переменной валентности, предотвращая их участие в процессах перекисного окисления. В биологических мембранах мишенями перекисного окисления являются двойные связи, присутствующие в углеводородных цепях фосфолипидов, которые локализуются в гидрофобной области фосфолипидного бислоя. Поэтому параметры липофильности флавоноидов, и связанная с ними способность этих агентов проникать вглубь фосфолипидного бислоя важны для защиты биологических мембран от окисления. Кроме того, липофильность химических соединений рассматривается как важнейший физико-химический параметр в исследованиях, связанных с транспортом веществ через мембраны и их биологической активностью.

Проведенные расчеты коэффициента распределения (LogP) комплексов флавоноидов с медью в системе октанол:вода предполагают, что этот параметр, который можно рассматривать как количественное выражение липофильности, может существенно возрастать при образовании комплексов со стехиометрией флавоноид:медь (2:1).

Экспериментально полученные величины липофильности (LogP) свободных флавоноидов и их комплексов с медью показывают возрастание этой величины при добавлении к раствору флавоноидов даже небольших количеств меди. В присутствии ионов двухвалентной меди липофильность апигенина и таксифолина возрастает, хотя и не достигает высоких значений ( $> 2$ ), полученных в вычислениях.

Определение стехиометрии комплексов свидетельствуют о том, что при взаимодействии апигенина и таксифолина с двухвалентной медью могут образовываться комплексы флавоноид:медь 2:1 и 3:2, гидрофобность которых существенно выше, чем комплексов 1:1.

Флавоноиды способны взаимодействовать с фосфолипидным бислоем биологических мембран и оказывать влияние на плавление липидов, наблюдаемое с помощью микрокалориметрии. Изменение липофильности молекул в результате образования комплексов с медью может оказать влияние на их взаимодействие с фосфолипидным бислоем.

Ионы меди в концентрациях  $10^{-6}$ М не оказывали заметного влияния на плавление липида в липосомах из димиристоиллецитина, тогда как в присутствии апигенина происходило снижение температуры плавления, снижение высоты и увеличение полуширины максимума.

Предварительно сформированный комплекс с катионами меди оказывал влияние на фазовые переходы липидов в липосомах из фосфатидилэтаноламина, что не наблюдалось в случае липосом из фосфатидилхолина. Термограмма фазового перехода липида, в контроле наблюдающегося при  $69^{\circ}\text{C}$ , в присутствии катионов двухвалентной меди существенно изменяется, сдвигаясь в область высоких температур более чем на  $5^{\circ}\text{C}$ , что сопровождается увеличением ширины и уменьшением высоты кривой. Еще большие изменения наблюдаются при последовательном введении в систему флавоноида и катионов металла.

---

## **РАЗДЕЛ 2**

# **МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ГИДРОЛИЗУЕМЫХ ТАННИНОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ *CORNUS SERICEA L.*

Адамов Г.В., Аксёнов А.А.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, adamov@vilarnii.ru

Фармакологические свойства таннинов активно изучаются, и, несмотря на большой запрос на изучение механизмов фармакологического действия индивидуальных соединений, большинство публикаций всё еще предоставляют результаты об активностях растительных экстрактов, реже, фракций из растительных экстрактов. Поэтому выделение индивидуальных компонентов, особенно гидролизуемых таннинов ввиду их уникальных химических и фармакологических свойств, является актуальной задачей [1, 2].

Для выполнения поставленной задачи было использовано доступное оборудование и распространённые реактивы, чтобы упростить трансфер методики выделения в другие исследовательские лаборатории. Выделение включало этапы: сбор и лиофильная сушка растительного сырья, жидкостная экстракция, фракционирование на препаративной колонке, доочистка с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии со скоростью потока подвижной фазы 8 мл/мин. Работа проводилась на листьях *Cornus sericea L.*, собранных в ботаническом саду ФГБНУ ВИЛАР. Сырьё подвергали лиофильной сушке, после чего измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 0,5 мм. Экстракцию БАВ из сухого сырья (100 г) проводили двукратно на магнитной мешалке в течение 20 мин, экстрагент - 80 % раствор ацетона в воде, температура - комнатная. Полученный экстракт упаривали на роторном испарителе и перерастворяли в 20 % растворе метанола в воде в соотношении 1 / 5. 2 мл пробы наносили на колонку 25\*400 мм с сорбентом Sephadex LH-20. Элюировали со скоростью потока 2 мл/мин с использованием перистальтического насоса смесью вода / метанол с увеличением доли менее полярного компонента. Фракции контролировали ВЭЖХ-УФ и объединяли.

Объединенный элюат упаривали на роторном испарителе и перерастворяли в 2 мл метанола. Последующее разделение проводили на хроматографе Shimadzu LC-2030C 3D, колонке BioХимМак 25\*250 мм с сорбентом Силасорб С18 5 мкм, объем вводимой пробы составлял 100 мкл. Подвижная фаза включала 0,02 % раствор муравьиной кислоты в воде очищенной (компонент А) и ацетонитрил (компонент В), скорость потока – 8 мл/мин. Начальная концентрация компонента В – 11 %, концентрация компонента В повышалась линейно до 23 % в течение 150 мин. Элюаты собирали и упаривали на роторном испарителе при температуре 40 °С.

На этапе апробации метода было выделено 3 соединения со спектром поглощения в ультрафиолетовой области, свойственным гидролизуемым таннинам. Использование хромато-масс-спектрометрии и ЯМР-спектроскопии позволило установить, что выделенные вещества являются индивидуальными с чистотой более 90 %: галловая кислота, дигаллоилглюкоза и галоилглюкоза. Описанный метод показал себя стабильным и воспроизводимым, в дальнейшем он будет использоваться для выделения высокомолекулярных гидролизуемых таннинов для проведения фармакологических исследований.

### Литература:

1. Liang X. et al. Separation, UPLC-QTOF-MS/MS analysis, and antioxidant activity of hydrolyzable tannins from water caltrop (*Trapa quadrispinosa*) pericarps //LWT. – 2020. – Т. 133. – С. 110010.
2. Saha S., Imran I. B. Isolation, detection, and quantification of hydrolyzable tannins of the biosynthetic pathway by liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry //Rapid Communications in Mass Spectrometry. – 2021. – Т. 35. – №. 5. – С. e9005.

---

## **ANALYSIS OF THE COMPONENT COMPOSITION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN MILK (KOUMISS) BY THE GC-MS SPME**

**Aubakirova A.S., Zhusupova G.Ye.**

Al-Farabi Kazakh National University, a.berikkhan@gmail.com

Milk and dairy products form the basis of the daily human diet, therefore, a detailed research of the component composition of volatile organic substances remains an urgent issue. At the moment, the composition of VOCs in koumiss remains a poorly studied topic, therefore, it is of greatest interest in the study of its chemical composition. The odor of milk depends on the presence of various volatile organic compounds, such as dimethyl sulfide, acetone, acetaldehyde, fatty acids, some groups of phenols. The quality of dairy products is subject to many factors that determine their special properties. Various studies have tried to establish the role of geographic origin and animal raising methods. Volatile organic compounds can change in the composition of milk, in particular, in koumiss, from various factors, such as the fermentation method, the stage of lactation, feeding rations, and storage conditions. Sharp changes in the content of gustatory and volatile components of milk lead to the emergence of various defects of taste and smell - fodder, bitter, rancid, oxidized taste. This research will consider the effect of the fermentation method on the chemical composition in koumiss by adding bacteria and yeast.

Fermentation process and its influence to component composition: enzymes are biological catalysts that accelerate chemical reactions in living organisms. The action of enzymes is specific; each enzyme catalyzes only one chemical reaction. The enzyme corresponds to chemical transformation, which this ferment catalyzes. Enzymes act at a certain temperature, pH of the medium; their activity depends on the presence of chemicals - activators and inhibitors. The optimum temperature for detecting activity is 40-50 ° C.

As a sample for studying the component composition koumiss was taken, the screening of volatile substances in which was carried out after its fermentation. Screening was carried out on a gas chromatograph with a mass detector (7890B/5977B, Agilent Technologies); capillary column HP-5MS 30mx0.25mmx0.25 µm; carrier gas helium (A); SPME with 50/50µm DVB/CAR fiber. As a result of the chromatographic analysis of the sample, the following substances were identified in it: n-butanol, 1-hexene, 2-heptanal, 1-heptanol, 3-octanone, 1-octanol, 2-nonanone, cyclopentanone, 3-ethyl-2-methyl-1,3-hexadiene, 2-undecanone (methylonyl ketone), 2,5-Di-tert-butylphenol, 4-(2-(phenylthio)ethyl) pyridine, nonanoic acid (pelargonic acid), octanonic acid and many others belonging to various classes of organic substances, like ketones, aldehydes, alcohols, acids and esters. It should be noted that these classes of substances are the key components of fermented milk products and they have a direct impact on their taste and smell. For example, the pleasant, subtle odor of milk depends on the presence of various volatile compounds such as dimethyl sulfide, acetone, acetaldehyde. On the other hand, the presence of phenols groups confirms the “medicinal” or “bandage-like” flavor. The effect of fermentation on the flavor and odor of dairy products remains a broad topic of investigate.

Determination of the properties of milk using the VOC’s profile is a relatively modern approach and brings new opportunities for study and research. One of the most efficient method of VOC’s screening is solid phase microextraction (SPME) technology. SPME method involves direct extraction and sample preparation of coated silica fiber material. This approach provides absorption of volatile organic components those will be analyzed in further steps on gas chromatograph. Compounds gathering used in this method gives highest extraction efficiency.

The research on this topic will help to expand knowledge in the section of the properties of koumiss and also helps to control producers from falsification of final products. Furthermore, deep understanding of this case will assist to apply various proportions of bacteria and yeast materials in order to improve and alter the taste/ odor and adjust beneficial properties of milk products.

---

## ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОНСКОГО КАШТАНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Бабич О.О., Ларина В.В., Воронова С.С., Кроль О.В.

ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им.Иммануила Канта, Калининград,  
ole-jolie@yandex.ru

Многие лекарственные растения богаты вторичными метаболитами, в частности, фенольными соединениями. Они могут обладать многочисленными биологическими эффектами, такими как антиоксидантная активность и положительная роль в профилактике рака и сердечно-сосудистых заболеваний. В силу значительной степени сходства метаболизма растительной и животной клетки, терапевтические средства на основе природных соединений являются в большинстве своем безопасными для человека.

Экстракты каштана конского благоприятно влияют на сердечно-сосудистую систему, однако в традиционной медицине в настоящее время используются редко из-за его неприятного вкуса. Тем не менее, при извлечении индивидуальных биологически активных веществ (БАВ) существует возможность создания на их основе комплексной биологически активной добавки геропротекторного действия, благоприятно воздействующей на различные системы организма.

В качестве объектов исследования были выбраны различные части каштана конского (*Aesculus hippocastanum*): цветы и плоды. Из цветов этого растения проводили последовательную экстракцию 0,1 М раствором трифторуксусной кислоты (ТФУ) в метаноле и этилацетатом. Полученный экстракт среди других компонентов содержал значительные количества астрагалина (1048,4 мг/кг), а также гиперозид (108,5 мг/кг) и кверцетин-3D-глюкозид (139,7 мг/кг). С целью извлечения индивидуальных компонентов экстракт цветов разделяли в градиентном режиме на колонке и отбирали фракции метанол+уксусная кислота (99:1). Далее методом ВЭЖХ с функцией сбора фракций выделяли индивидуальные вещества.

При экстракции из плодов конского каштана наблюдался значительно меньший выход фенольных компонентов. Однако экстракт, полученный метанолом методом Сокслета содержал количество 3,4-дигидроксибензойной кислоты (57,75 мг/кг), превышающее ее содержание во всех других полученных нами экстрактах различных частей этого растения. Для выделения указанного индивидуального БАВ экстракт разделяли на хроматографической колонке, собирали фракции хлороформ:метанол (1:1). Затем полученная 3,4-дигидроксибензойная кислота была доочищена методом ВЭЖХ.

Таким образом, из цветов конского каштана удалось выделить астрагалин, гиперозид и кверцетин-3D-глюкозид. Из плодов конского каштана была выделена в индивидуальном виде 3,4-дигидроксибензойная кислота. Полученные БАВ обладают различной степенью биологической активности, что позволяет создавать на их основе комплексные добавки геропротекторного действия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках исполнения Гранта Президента: соглашение № 075-15-2021-310 от 19.04.2021 г. (внутренний номер МД-135.2021.1.4).*

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРНЕЙ СОЛОДКИ

Белова О.А., Куркин В.А.

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, olga.belova1519@gmail.com

Лекарственное растительное сырье «Солодки корни» содержит в своем составе целый комплекс биологически активных соединений (тритерпеновые сапонины, флавоноиды и др.) и широко применяются в медицинской практике в качестве сырья для получения противовоспалительных, отхаркивающих средств [1,2].

Доминирующим и диагностически значимым флавоноидом корней солодки является ликуразид. Стандартизация сырья проводится по содержанию глицирризиновой кислоты, тогда как в этом соотношении представляет интерес флавоноиды, которые вносят вклад в биологическую активность сырья и препаратов солодки. Целесообразно рассмотреть возможность определения как глицирризиновой кислоты и ликуразида [3-5].

Целью работы являлось разработка методик количественного определения содержания глицирризиновой кислоты и ликуразида в корнях солодки методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Материалы и методы. Корни солодки голой и солодки уральской, заготовленные в 2018 и 2021 г. от растений, выращиваемых в Ботаническом саду СамГУ; коммерческие образцы растительного сырья (АО «Красногорсклексредства», ООО «Фирма КИМА»); государственные стандартные образцы (ГСО) монозамещенной аммониевой соли глицирризиновой кислоты (глицирам) (ФС 42-0034-00) и ликуразида (ФС 42-2573-88); рабочий стандартный образец глицирризиновой кислоты. Из корней солодки получали водно-спиртовые извлечения, которые были использованы для количественного определения действующих компонентов методом ВЭЖХ.

Результаты. Разработаны методики количественного определения глицирризиновой кислоты и ликуразида в корнях солодки методом ВЭЖХ. Ошибка определения среднего результата содержания глицирризиновой кислоты в корнях солодки с доверительной вероятностью 95% составляет  $\pm 4,11\%$ , ликуразида –  $\pm 4,76\%$ . Содержание глицирризиновой кислоты (в пересчете на глицирам) в корнях солодки варьировало от 3,24 до 4,49%; ликуразида – от 0,20 до 0,32%. Заключение. Показана целесообразность стандартизации корней солодки по двум показателям – содержанию глицирризиновой кислоты и диагностически значимого флавоноида – ликуразида с использованием метода ВЭЖХ в изократическом режиме элюирования.

### Литература:

1. Егоров М.В., Куркин В.А., Запесочная Г.Г., Быков В.А. Качественный и количественный анализ сырья и препаратов солодки. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2005; 1: 175–80.
2. Куркин В.А., Егоров М.В. Стандартизация корней солодки голой и лекарственного препарата «Солодки экстракт жидкий». Фундаментальные исследования. 2014; 6 (часть 6): 1232–6.
3. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Vennos С. Применение микроколоночной ВЭЖХ-УФ для анализа *Glycyrrhiza uralensis* и препаратов солодки. Химико-фармацевтический журнал. 2018; 52 (12): 24–9.
4. Егоров М.В., Куркин В.А., Запесочная Г.Г., Быков В.А. Валидация методик качественного анализа сырья и препаратов солодки. Фармация. 2005; 53 (1): 9–12.
5. Павлова Л.В., Платонов И.А., Куркин В.А. и др. Определение глицирризиновой кислоты в корнях солодки методом ВЭЖХ с субкритической экстракцией. Аналитика и контроль. 2018; 22 (3): 229–35. DOI: 10.15826/analitika.2018.22.3.004



---

## СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ТРАВЕ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

Васькова А.И., Куркин В.А.

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, a.i.vaskova@samsmu.ru

Согласно методике ФС 2.5.0101.18 Государственной фармакопеи 14 издания «Тысячелистника обыкновенного трава» предполагается на стадии экстракции данного сырья проведение кислотного гидролиза с последующим определением суммы флавоноидов в пересчёте на лютеолин. Следует учесть, что в траве тысячелистника обыкновенного содержатся флавоноиды, в том числе 7-О-глюкозиды лютеолина (цинарозид) и апигенина (космосиин), трудно поддающиеся кислотному гидролизу. Таким образом, актуальной является проблема совершенствования методики определения суммы флавоноидов в траве тысячелистника обыкновенного.

Цель исследования – разработка методики количественного определения суммы флавоноидов в траве тысячелистника обыкновенного.

Объектом исследования служила трава тысячелистника обыкновенного, заготовленная в разных регионах РФ в период массового цветения. В качестве метода исследования использована дифференциальная спектрофотометрия, проведенная в соответствии с ОФС.1.2.1.1.0003.15 «Спектрофотометрия в ультрафиолетовой и видимой областях». Спектральные характеристики водно-спиртовых извлечений оценивали на спектрофотометре «Specord 40» (Analytik Jena AG, Германия) в кюветках с толщиной слоя 10 мм.

В рамках разработки методики количественного определения суммы флавоноидов в траве тысячелистника обыкновенного изучались УФ-спектры раствора водно-спиртового извлечения из данного сырья. Исследование УФ-спектра показало, что при добавлении спиртового раствора алюминия (III) хлорида наблюдается батохромный сдвиг длинноволнового максимума поглощения, который в условиях дифференциальной спектрофотометрии обнаруживается при длине волны 400 нм.

В УФ-спектре водно-спиртового извлечения из травы тысячелистника обыкновенного в дифференциальном варианте обнаруживается максимум поглощения при длине волны 400 нм  $\pm 2$  нм, который практически соответствует максимуму поглощения спиртового раствора цинарозида (дифференциальный вариант).

С целью разработки методики количественного определения суммы флавоноидов нами определены оптимальные условия экстракции флавоноидов в траве тысячелистника обыкновенного с использованием различных концентраций этилового спирта: степень измельчения сырья до размера частиц 2 мм; многократная экстракция заменена на однократное извлечение флавоноидов водным спиртом на кипящей водяной бане.

Таким образом, в результате сравнительного спектрального анализа водно-спиртовых извлечений травы тысячелистника обыкновенного определены их спектральные характеристики, на основе которых можно сделать вывод о перспективности дальнейших исследований по научному обоснованию совершенствования методики количественного определения суммы флавоноидов в сырье «Тысячелистника обыкновенного трава», а также числового показателя «Содержание суммы флавоноидов» в данном сырье.

---

## ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ АНТОЦИАНОВ ИЗ ТУИ ЗАПАДНОЙ

Гапуров Ж.Ж., Корулькин Д.Ю.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
superjgapurov@gmail.com

Антоцианы – природные пигменты, широко применяемые в качестве натуральных красителей. Данный подкласс флавоноидов составляет самую большую группу водорастворимых пигментов природного происхождения. На данный момент идентифицировано более 700 уникальных структур этой группы. Их сопряженные связи дают окрас от красного до пурпурного и синего [1]. Помимо широкого диапазона цвета, антоцианы также полезны для здоровья человека. Они обладают противодиабетическим, противоопухолевым, противовоспалительным, и антимикробным действием. Кроме того, эти соединения используются для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний в народной медицине. Считается, что терапевтический эффект антоцианов в основном обусловлен их антиоксидантной активностью [2].

Малое разнообразие растительного сырья для выделения антоцианов, а также значительный спрос на использование этого сырья в качестве продукта питания создают трудности в долгосрочной рентабельности их производства. В связи с этим, относительную перспективу имеют исследования других видов растительного сырья, содержащего пигментные группы. Одним из таких растений является Туя западная (*Thuja occidentalis L.*). Это известное лекарственное растение, широко применяемое в традиционной медицине, обладающее иммуностимулирующей и противовирусной активностью [3]. Микроволновая экстракция – перспективный метод выделения биологически активных веществ из растений. Он обеспечивает меньшее время экстракции, меньшее количество используемого растворителя, а также высокий выход. Этот метод также сопоставим с другими современными методами экстракции благодаря простоте процесса и низкой стоимости [4].

Исследован процесс микроволновой экстракции антоцианов из Туи западной с использованием воды в качестве растворителя. Оптимизированы такие параметры, как соотношение сырья и растворителя, мощность излучения и время экстракции. Найдено, что наиболее оптимальными значениями для этих параметров являются: соотношение сырья и растворителя – 1:5, мощность излучения – 300 Вт, время экстракции – 4 минуты. При этом выход достигает 0.39 мг/мл, что составляет 97% от общего содержания антоцианов в растении.

### Литература:

1. Sigurdson G.T., Tang P., Giusti M.M. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources // Annual Review of Food Science and Technology. - 2017. - Vol. 8, Is. December 2016. - P. 261–280.
2. Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits // Food and Nutrition Research. - Taylor & Francis, 2017. - Vol. 61, Is. 1. - P. 0–21.
3. Chang L.C., Song L.L., Park E.J., Luyengi L., Lee K.J., Farnsworth N.R., Pezzuto J.M., Kinghorn A.D. Bioactive constituents of *Thuja occidentalis* // Journal of Natural Products. - 2000. - Vol. 63, Is. 9. - P. 1235–1238.
4. Rostagno M.A., Prado J.M. Natural Product Extraction Principles and Applications // Royal Society of Chemistry. - 2013. - Is. 21. - 517 p.

---

## ВИНОГРАДНЫЙ СОК И ВИНОГРАДНЫЕ ВИНА: ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТОЦИАНОВ

Дейнека В.И., Макаревич С. Л., Блинова И.П., Дейнека Л.А.

ФГАОУВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Белгород, deineka@bsu.edu.ru

Одно из важнейших свойств плодов темноокрашенных сортов винограда – накопление большого количества водорастворимых антиоксидантов – антоцианов. Именно антоцианам приписывается так называемый «французский парадокс» – низкая частота сердечно-сосудистых заболеваний во Франции при традиционной жирной диете. Парадокс связывают с антиоксидантным действием антоцианов именно красного вина, умеренное употребление которого также входит в диету французов. И действительно, высокая антиоксидантная активность (АОА) антоцианов подтверждена большим числом публикаций в мировой литературе. При в целом высокой АОА антоцианов, этот показатель зависит от строения антоциана и способа определения АОА. Поэтому контроль общего содержания и видового состава антоцианов имеет большое значение при оценке качества и подлинности продукции переработки плодов винограда.

Некоторые проблемы при определении видового состава антоцианов плодов винограда и продуктов его переработки возникают вследствие сложности состава реальных образцов. Так, например, антоцианы плодов винограда вида *Vitis vinifera* представлены не только 3-глюкозидами пяти основных антоцианидинов (дельфинидина, цианидина, петунидина, пеонидина и мальвидина), но и продуктами их ацилирования (в различных, зависящих от сорта и условий выращивания соотношениях) уксусной, *para*-кумаровой и кофейной кислотами. Все эти 15 антоцианов могут быть разделены и определены при использовании градиентного элюирования в условиях обращенно-фазовой хроматографии. Однако растения вида *Vitis vinifera* относятся к теплолюбивым и в условиях России могут выращиваться только в южных регионах, а на остальной территории можно культивировать не укрывные сорта винограда только гибридного происхождения. В этом случае кроме 3-глюкозидов и продуктов их ацилирования добавляется еще такое же число, но уже 3,5-диглюкозидов. Разделение 3-глюкозидов и 3,5-диглюкозидов пяти антоцианидинов уже не простая задача, но в нашей лаборатории было найдено несколько решений, включая разделение по типам гликозидных остатков в условиях гидрофильной хроматографии. Это позволило определить видовой состав виноградов многих сортов, включая те, которые выращивают в Центрально-Черноземном регионе. Также проведен анализ вин марок Каберне и Каберне Совиньон российского и импортного производства. Установлены марки вин, при производстве которых вместо плодов винограда вида *Vitis vinifera* использованы плоды гибридных сортов винограда.

При переходе к продуктам переработки возникают более сложные проблемы – при высокой концентрации антоцианов происходит не только постепенная полимеризация этих соединений, но и ферментативные процессы, приводящие к образованию пираноантоцианов, заметно усложняющих хроматографическое разделение. Исследования показали, что в способе определения антоцианов всемирно принятым методом дифференциальной спектроскопии имеются существенные недостатки – он, например, не применим к объектам, содержащим ацилированные замещенными коричными кислотами антоцианы. Для решения данной проблемы нами разработана хроматографическая альтернатива учета полимерных форм антоцианов.

Анализ виноградных соков трех марок показал, что все они изготовлены с применением плодов винограда вида *Vitis vinifera*, но в составе антоцианов появляется значительное количество пираноантоцианов, которые, впрочем, нельзя отнести к нежелательным компонентам антоцианового комплекса.

---

## ТЕСТИРОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛИПОСОМНОЙ МОДЕЛИ

Кайгородов Р.В.

ФГАОУ ВО Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,  
r.kaigorodov@yandex.ru

Под влиянием неблагоприятных факторов в живых организмах развивается окислительный стресс, связанный с образованием активных форм кислорода (АФК). В стрессовых условиях содержание АФК начинает быстро повышаться. АФК, взаимодействуя с органическими молекулами ДНК, аминокислот, белков, липидов, вызывают их окислительные модификации с сопутствующей потерей функциональной активности. Повреждающему эффекту АФК противодействует антиоксидантная система. Важными компонентами антиоксидантной системы выступают фенольные соединения, обладающие легкой окисляемостью и способные нейтрализовать АФК и свободные радикалы. Повышенное содержание фенольных соединений выступает неспецифическим ответным механизмом на внешние неблагоприятные воздействия [1].

Исследование антиоксидантных свойств кормовых растений играет важную роль в оценке их функциональных качеств в отношении устойчивости сельскохозяйственных животных к неблагоприятным факторам.

Липосомная модель представляет собой замкнутые пузырьки – липосомы, самопроизвольно образующиеся в смесях фосфолипидов с водой или растворами электролитов. Липосомы являются удобными моделями для изучения воздействий на клеточные мембраны витаминов, гормонов, антибиотиков и других препаратов [2].

Наши исследования основаны на оценке устойчивости липосомной модели к окислительному разрушению в присутствии 0,2%-х спиртовых (70% этиловый спирт) экстрактов *Trifolium apertum*, *Onobrychis arenaria*, *Rhaponticum carthamoides*, *Galega orientalis*, *Astragalus danicus*, *Medicago sativa*.

Антиоксидантная активность оценивалась по динамике оптической плотности суспензии липосом, по степени замедления перекисного разрушения липосом (воздействие 10%-й серной кислоты) в присутствии экстрактов кормовых растений, также была измерена скорость разрушения липосом в процентах оптической плотности суспензии за 1 мин спектрофотометрическим методом при длине волны 460 нм.

Наименьшая скорость (1,4% оптической плотности за 1 мин) деградации липосом при окислительном стрессе отмечена в присутствии экстракта *Medicago sativa*, что указывает на максимальную антиоксидантную активность среди исследованных кормовых растений. Экстракты *Onobrychis arenaria* и *Astragalus danicus* в меньшей степени обеспечивали устойчивость липосом при окислительном стрессе, при этом скорость деградации липосом составляла 9,7 – 9,4 % оптической плотности за 1 мин.

Различия в антиоксидантных свойствах кормовых растений вызваны отличием в составе и содержании фенольных растений, что в свою очередь обусловлено видовыми физиолого-биохимическими особенностями исследованных растений.

### Литература:

1. Фурман Ю. В., Артющкова Е. Б., Аниканов А. В. Окислительный стресс и антиоксиданты // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. Биология. 2019. Вып. 1, № 17. С. 1-3.
2. Alvik A.C., Lovaas E.A high throughput assay for screening of antioxidants. Institute of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, University of Tromso, Norway. 2001. P. 275 – 287.

---

## ЭКСТРАКЦИЯ АНТОЦИАНОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ЭВТЕКТИЧЕСКИМИ СМЕСЯМИ

**Калинкин Д.А., Саласина Я.Ю., Дейнека В.И.**  
ФГАОУ ВО «НИУ БелГУ», Белгород, 1318753@bsu.edu.ru

Антоцианы – это пигменты, относящиеся к группе флавоноидов. Преимущественно находятся в клетках высших растений: овощах, фруктах, ягодах и лепестках цветков, окрашивая их в красный, синий и фиолетовый оттенки. Цвет растения зависит от количества и положения гидроксильных и метоксильных групп, находящихся в структуре антоцианидина.

В связи с ростом спроса потребителей на использование природных красителей взамен искусственных, получение антоцианов из природных источников является актуальной проблемой. Традиционным методом выделения антоцианов из сырья является мацерация под слоем экстрагента: под водным раствором соляной кислоты, подкисленным метанолом, этанолом и др. органическими растворителями. Однако в последнее время направление «зеленая химия» развивается бурно, с целью направления – расчет на меньший ущерб окружающей среде и человеку. К числу современных альтернативных методов экстракции антоцианов, разработанных и широко используемых в настоящее время, является экстракция низкотемпературными смесями

Экстрагенты, используемые в традиционном методе экстракции, являются экологически небезопасными. Поэтому, целью исследования был анализ эффективности экстракции антоцианов альтернативными экстрагентами – низкотемпературными эвтектическими смесями (NADES, от Natural Deep Eutectic Solvents). NADES представляют собой смеси, состоящие из относительно дешёвых и экологически безопасных реагентов. Наиболее эффективными являются смеси, в которых присутствует акцептор и незаряженный донор водородной связи. В качестве акцептора водородной связи часто используются четвертичные аммониевые соли (например, холин хлорид), в качестве донора – сахара, спирты, карбоновые кислоты. Эти вещества способны разделять молекулы антоцианов, предохраняя их поликонденсации и иных превращений. Низкая активность воды в таких смесях не позволяет проходить гидратации антоцианов до бесцветных псевдооснований – первой стадии для последующего окислительного разрушения антоцианов.

В данной работе в качестве источников антоцианов были использованы различные по строению антоцианов растительные источники: краснокочанная капуста (содержит преимущественно ацилированные замещенными коричневыми кислотами производные цианидин-3-софорозад-5-глюкозида), голубика (с широким набором 3-галактозидов, 3-глюкозидов и 3-арабинозидов пяти основных природных антоцианидинов (дельфинидина, цианидина, петунидина, пеонидина и мальвидина) и черешня (содержит неацилированные 3-глюкозид и 3-рутинозид цианидина). Были рассмотрены эвтектические смеси, состоящие из холин хлорида, яблочной кислоты, молочной кислоты, 1,2-пропандиола, мочевины, бетаина, лимонной кислоты и воды с различным мольным соотношением компонентов. Экстракция проводилась в течение 24 часов при постоянном перемешивании и температуре 50 градусов Цельсия.

Наиболее эффективными оказались: яблочная кислота: молочная кислота: вода: бетаин (1:1:3:1) – для краснокочанной капусты; холин хлорид: 1,2-пропандиол: вода: мочевины: лимонная кислота (1:1:4:1:1) – для голубики; холин хлорид: яблочная кислота: 1,2-пропандиол: вода: мочевины (1:2:1:5:1) – для вишни. Эффективности одноразовой экстракции относительно экстракции с 0,1 н раствором HCl составили 144, 191 и 271% соответственно.

Таким образом, NADES являются отличной альтернативой традиционным экстрагентам. Они экологически безопасны, недороги в использовании и обладают хорошей экстракционной способностью антоцианов из растительного сырья.



---

## ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОЙ ОЧИСТКЕ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ОТХОДОВ ВИНОПРОИЗВОДСТВА

Мелконян К.И., Русинова Т.В., Козмай Я.А., \*Цыгурина К.А., Письменская Н.Д.  
ФГБОУ ВО Кубанский государственный медицинский университет Министерства  
здравоохранения РФ, Краснодар, snil.ksma@yandex.ru  
\*ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет, Краснодар

Отходы виноделия содержат большое количество полифенольных соединений, обладающих антиоксидантной активностью (АОА). Это делает продукты, содержащие полифенольные соединения, ценными материалами для производства лекарственных препаратов, обладающих способностью нейтрализовать свободные радикалы. В последнее время активно разрабатываются безреагентные способы выделения полифенольных соединений из жидких сред. Одним из таких методов является электродиализ, в котором выделение растительных полифенольных соединений, в частности, антоцианов, основано на управлении их электрическим зарядом благодаря безреагентной коррекции pH. Использование этого метода может быть сопряжено с количественными потерями биологически активных веществ или снижением их антиоксидантной активности. Данная работа направлена на решение этой проблемы.

Материалы и методы. Электродиализная очистка модельного раствора проводилась в шестикамерном электродиализаторе с рабочей поверхностью ионообменных мембран 7,29 см<sup>2</sup>. Через камеры обессоливания циркулировал водный модельный раствор отходов винопроизводства (pH 3,25), который содержал экстракта кожицы винограда «Антоциан» (Etol, Словения) 20 мг/л, 10%мас этилового спирта, 0,4 г/л KCl, 2 г/л винной кислоты. Через камеры концентрирования и электродные камеры циркулировал водный подкисленный (pH 3,25) раствор KCl (0,4 г/л). Эксперимент продолжался в течение 10 часов при температуре 25,0±0,2°C. Антиоксидантную активность (АОА в ммоль/л в пересчёте на аскорбиновую кислоту) исходного модельного раствора, а также растворов в камерах концентрирования до, во время и после электродиализа определяли по стандартным методикам ABTS и FRAP. Результаты представлены в виде M±S, где M – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение; статистически значимыми считались различия при p<0,05.

Результаты. Результаты оценки АОА методом ABTS показали, что АОА имеющихся в модельном растворе соединений изменялась незначительно (p>0,05) и в среднем составляла 1,758±0,012 ммоль/л. Вместе с тем, по окончании эксперимента в камерах концентрирования АОА достигла 0,049±0,012 ммоль/л. Использование метода FRAP позволило оценить железозостванавливающую способность перерабатываемых растворов: в камере обессоливания она менялась незначительно (p>0,05) и оставалась равной 7,254±0,278 ммоль/л в течение всего эксперимента. В обеих камерах концентрирования АОА не была зарегистрирована данным методом.

Выводы. Вероятнее всего, в ходе электродиализа из модельного раствора в камеры концентрирования через поры ионообменных мембран в незначительном количестве переносятся негликозидные флавоноиды, преимущественно катехины и димеры катехинов, кверцетин, дегидрокверцетин, лютеолин и другие низкомолекулярные флавоноиды. Чтобы исключить их перенос, требуется уменьшить размеры пор применяемых мембран и определить, влияют ли параметры токового режима на этот нежелательный процесс.

*Проект выполнен при поддержке Кубанского научного фонда, проект № МФИ-20.1/130.*



## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФЛАВОНОИДОВ В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Рязанова Т.К., Куркин В.А.

ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Самара,  
t.k.ryazanova@samsmu.ru

Сохраняет свою актуальность усовершенствование существующих подходов к контролю качества некоторых видов лекарственного растительного сырья (ЛРС). В некоторых случаях востребованным является разработка современных методик идентификации и количественного определения различных групп веществ с использованием инструментальных физико-химических методов, как это предусмотрено для ЛРС в ведущих фармакопеях мира. Внедрение этих методов, в свою очередь, поднимает вопрос создания отечественных государственных стандартных образцов (ГСО) для оценки качества ЛРС и препаратов на его основе, разработки базы нормативных документов качества ГСО [2].

Нами рассмотрены возможности усовершенствования подходов для двух видов ЛРС: корни солодки и цветки бессмертника песчаного.

В настоящее время корни солодки оцениваются по содержанию глицирризиновой кислоты [1]. Однако, с учетом значимого вклада флавоноидов в биологическую активность сырья и некоторых препаратов солодки, на наш взгляд, целесообразно рассмотреть включение в фармакопейную статью на корни солодки количественное определение флавоноидов, а именно ликуразида, являющегося диагностически значимым компонентом для рассматриваемого ЛРС.

Другим примером ЛРС, для которого требуется актуализация фармакопейной статьи, являются цветки бессмертника песчаного. Качественное определение основных биологически активных веществ методом тонкослойной хроматографии предусматривает использование ГСО лютеолина-7-глюкозида, в то время как по литературным данным доминирующим и диагностически значимым является халкон изосалипурпозид [2]. В связи со значимостью этого соединения для ЛРС «Бессмертника песчаного цветки», возможно, целесообразным является определение его количественного содержания методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

В качестве материалов исследования использовали образцы сырья, заготовленные в Самарской области (солодки корни) или Оренбургской области (бессмертника песчаного цветки), а также коммерческие образцы ЛРС. Для количественного определения диагностически значимых флавоноидов использовали метод ВЭЖХ. В случае определения ликуразида в качестве подвижной фазы использовали смесь ацетонитрила и 1% водного раствора уксусной кислоты в соотношении 2:8, при определении изосалипурпозид – в соотношении 25:75. Детекцию осуществляли при длине волны 360 нм. Валидационная оценка методик проводилась по показателям: специфичность, линейность, правильность (открываемость), прецизионность.

Содержание ликуразида в проанализированных образцах корней солодки варьировало от 0,20 % до 0,32 %. Содержание изосалипурпозид в образцах цветков бессмертника песчаного составляло от 1,22 % до 1,78 %. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о целесообразности включения в фармакопейные статьи на исследуемые ЛРС ВЭЖХ-методик количественного определения диагностически значимых флавоноидов.

### Литература:

1. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV издания, Т. 4. М.; 2018. 1833 с.
2. Куркин В. А. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических вузов (факультетов), изд. 5-е, перераб. и доп. Самара: ООО «Полиграфическое объединение «Стандарт»; ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России; 2020. 1278 с.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ САЛИЦИНА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ГИДРОЛИЗОМ

**Сабутова А.Б., Нехорошев С.В.\***

Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им.В.Г.Шухова, Минеральные воды, [sabutovaa@mail.ru](mailto:sabutovaa@mail.ru)

\*Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, [serg-nehor@rambler.ru](mailto:serg-nehor@rambler.ru)

В настоящее время салицин считается веществом, определяющим основную биологическую активность препаратов, получаемых из различных вегетативных частей растений семейства Ивовые. Салицин (Salicin) — основной глюкозид салицилового спирта (салигенина или салигенола). На первом этапе, в процессе кислотного гидролиза салицина образовывается спирт, который на последующих этапах окисляется с образованием салицилового альдегида и салициловой кислоты.

Для аналитического определения салицина, как индивидуального вещества, на сегодняшний момент применяются методы ВЭЖХ, спектрофотометрические, а так же капиллярный электрофорез [1]. Электрохимические методы определения салицина и, в частности, вольтамперометрические, на данный момент неизвестны. В связи с этим, целью работы являлась разработка методики определения салицина в водных растворах электрохимическим методом.

Измерение проводили на компьютеризированном вольтамперометрическом анализаторе СТА. В связи с тем, что молекулы салицина не проявляют электрохимической активности, была разработана методика кислотного гидролиза салицина, в результате которого образуется салициловый спирт, обладающий необходимой электрохимической активностью. В результате проведенных экспериментов на стеклоглеродном электроде в модельных водных растворах салицина с концентрацией 0,01-1 мМоль/л после процедуры гидролиза был получен интенсивный пик салицилового спирта при потенциале 0,754 В, (рис. 1). Установленные условия впервые позволили быстро и экономично определять салицин в модельных растворах с помощью электрохимического метода анализа.

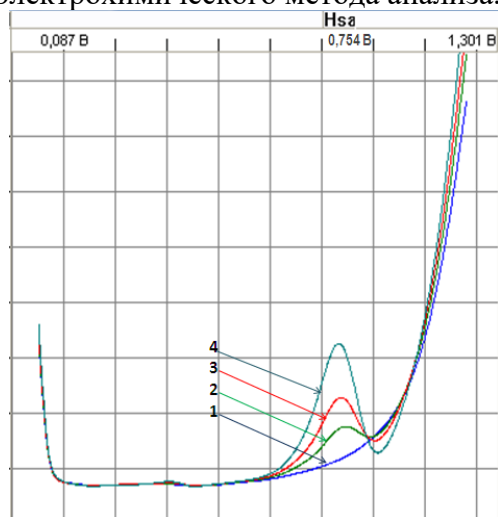


Рисунок 1. Вольтамперограмма салицилового спирта, полученного после кислотного гидролиза салицина (1 – фон; 2 –  $C_{\text{спирта}} = 0,02$  мМоль/л; 3 –  $C_{\text{спирта}} = 0,04$  мМоль/л; 4 –  $C_{\text{спирта}} = 0,08$  мМоль/л).

Таким образом, впервые предложена методика определения салицина в водных растворах методом инверсионной вольтамперометрии с предварительным гидролизом.

### Литература:

Гидролитическая стабильность водных растворов салицина / С. В. Нехорошев, А. В. Нехорошева, А. Б. Сабутова [и др.]// Химико-фармацевтический журнал. 2020. Т. 54. №8. С. 58–61.

---

## АНАЛИЗ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Соболева А.В.<sup>1,2,3</sup>, Кисель Э.В.<sup>3</sup>, Орлова А.А.<sup>1,2</sup>, Силинская С.А.<sup>1</sup>, Черевацкая М.А.<sup>1</sup>, Фролова Н.В.<sup>1</sup>, Билова Т.Е.<sup>1,2</sup>, Фролов А.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, a.a.frolov@spbu.ru,

<sup>2</sup>ИФР РАН, Москва,

<sup>3</sup>Институт биохимии растений им. Лейбница, Халле, Германия

Фенольные соединения представляют собой одну из наиболее распространенных групп вторичных метаболитов растений. Поскольку их биологическая роль непосредственно связана с ответом на действие абиотических и биотических стрессоров, эти соединения зачастую обладают выраженной биологической активностью. Так, для них свойственны антиоксидантные, противовоспалительные, антимикробные, антигликирующие, нейропротекторные и геропротекторные свойства.

Это обуславливает высокий интерес исследователей к изучению разнообразия фенольных соединений в различных органах лекарственных и пищевых растений, а также определению относительного и абсолютного содержания индивидуальных соединений этой группы. Ответы на этот вопрос дает метаболомика - методологическая платформа, позволяющая получить исчерпывающую информацию о метаболоме, т.е. совокупности метаболитов клетки, ткани, органов или целого растения.

Поскольку фенольные метаболиты обладают преимущественно семиполярными свойствами, наиболее полный охват вторичного метаболома растений может быть достигнут с помощью обратнофазовой высоко- или ультравысокоэффективной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией высокого разрешения в режиме он-лайн (УВЭЖХ-ВР-МС) в рамках ненаправленного (untargeted) метаболомного подхода. Для этого нами применяются квадруполь-времяпролетные масс-спектрометры (QqTOF-MS) и гибридные приборы на основе комбинации электродинамической и электростатической ловушек (LIT-Orbitrap-MS).

Для распознавания пиков (peak peaking), их совмещения между образцами (peak alingment), выявления аналит-специфических групп с последующей фильтрацией сигналов, а также интеграции площадей аннотированных пиков используется программное обеспечение MS Dial. Полученные в результате числовые матрицы интенсивности (выраженных как интегральные площади пиков, верифицированные вручную) используются для статистической обработки с помощью онлайн платформы Metaboanalyst.

Хроматографические сигналы, демонстрирующие различия интенсивности между экспериментальными группами, анализируются в отношении их структуры с помощью направленного тандемно масс-спектрометрического анализа соответствующих  $m/z$ , для чего могут использоваться различные масс-анализаторы.

С другой стороны, использование последовательного тандемно-масс-спектрометрического анализа в нескольких широких интервалах  $m/z$ , покрывающих всю область значений  $m/z$  анализа (так называемая технология SWATH, sequential window acquisition of all theoretical fragment ion spectra mass spectrometry) позволяет оценить распределение метаболитов по классам с помощью онлайн платформы MetFamily.

## ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ *HIPPORHAE RHAMNOIDES L.* И *RUBUS SUBGEN. RUBUS*

Старовойтова М.О., Караваева Е.Б.

РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, mbikunina@yandex.ru

Антиоксиданты участвуют в регуляции протекания свободно-радикальных превращений в организме, существенно влияя на его состояние, поэтому исследование антирадикальных свойств соединений в последнее время получили широкое распространение.

В качестве объектов исследования были использованы водно-этанольные экстракты (70 % этанола, 1 г сырья на 20 мл растворителя, содержание экстрактивных веществ – 10 мг/мл) листьев облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides L.*) и листьев ежевики (*Rubus subgen. Rubus*).

В качестве характеристики интегральной антиоксидантной мощности действия изученных экстрактов использовали показатель RS – степень радикального захвата (в %):

$$RS = (A_0 - A_x / A_0) \times 100, (1)$$

где  $A_0$  – оптическая плотность (светопоглощение) исходного раствора радикала;

$A_x$  – оптическая плотность раствора после добавления образца (экстракта).

В качестве модельного антиоксиданта был выбран кверцетин – природный антиоксидант группы флавоноидов. Результаты исследования водно-этанольных экстрактов. В таблице приведены величина светопоглощения в диапазоне 190 – 700 нм.

Таблица 1. Оптические свойства экстрактов в водно-этанольных растворах

№ образца	Вид сырья	Температура сушки сырья,	Величина светопоглощения при $\lambda$ макс, нм		
			217 – 220	266 – 268	430 – 470
1	Листья облепихи	25 <sup>o</sup> C	1.384	0.642	0.031
2	Листья облепихи	40 <sup>o</sup> C	2.971	0.868	0.042
3	Листья облепихи	60 <sup>o</sup> C	2.769	0.829	0.034
4	Листья облепихи	Замороженное	1.530	0.517	0.098
5	Листья ежевики	25 <sup>o</sup> C	2.970	0.860	0.040

Величина светопоглощения с максимумом при 266 – 268 нм обусловлена главным образом содержанием веществ фенольного типа.

Все контрольные пробы, используемые для оценки антиоксидантных свойств экстрактов, содержали 100 мкг экстрактивных веществ в 5 мл раствора ДФПГ•. На рисунке 1 видно, что наибольшая степень радикального захвата наблюдается для образцов № 2, 3 и 5.



Рисунок 1. Степень радикального захвата, характеризующая интегральную антиоксидантную активность полученных экстрактов облепихи. Исследования показали, что антиоксидантная активность листьев облепихи, высушенных при температуре 40 и 60<sup>o</sup>C, а также листьев ежевики, высушенных при температуре 25<sup>o</sup>C, находится на уровне кверцетина.

---

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Фатеенкова О.В., Савватеев А.М., Белобородов В.Л., Гравель И.В.**  
ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России, Москва,  
fateenkova-olga@mail.ru

Обеспечение эффективности и безопасности применения богатых полифенольными соединениями средств из лекарственного растительного сырья (ЛРС) одна из задач фармацевтической науки. Использование фосфорорганических пестицидов (ФОП) при выращивании лекарственных растений обуславливает необходимость определения различных подгрупп пестицидов в таких многокомпонентных матрицах. По литературным источникам полифенолы могут конкурировать с определяемыми пестицидами на этапе ионизации при ВЭЖХ-МС анализе, вызывая подавление сигналов аналитов ФОП.

Целью данной работы являлась разработка и валидация методики одновременного определения ФОП различной природы в ЛРС.

В качестве объекта исследования, как модельное ЛРС, были выбраны корневища лапчатки (*Rhizomata tormentillae*), богатые по содержанию флавоноидами и их гликозидами, коричной, салициловой, галловой и гидроксикоричной кислотами.

Создание методики одновременного определения семи ФОП различных подгрупп (азинфос-метил, азинфос-этил, диазинон, малатион, паратион-метил, паратион-этил, хлорпирифос) включало в себя четыре основных этапа: выбор оптимальных условий МС детектирования; подбор условий одновременного хроматографического разделения; оптимизацию способа пробоподготовки растительного сырья, искусственно загрязненного пестицидами; валидацию методики.

Поскольку большинство ФОП являются термостабильными полярными соединениями с низкой летучестью оптимально применение тандемного масс-спектрометра, что так же позволило достигнуть высокой чувствительности метода (пестициды нормируются в концентрациях от 0,01 мг/кг). Из-за наличия атомов фосфора в структуре ФОП выбрана электрораспылительная ионизация в режиме регистрации положительных ионов. Исследованы наиболее интенсивные фрагментные ионы для определения селективных пар MRM-переходов и подобраны условия детектирования (напряжение на фрагменторе, энергия фрагментации). Оптимальные условия разделения модельной смеси ФОП достигнуты при описанных ниже условиях обращенно-фазовой ВЭЖХ (Agilent 1260 Infinity, детектор Agilent 6420). Колонка «Acclaim 120 C18» (3,0 мкм). Подвижная фаза: 0,1% муравьиная кислота в воде (А) / ацетонитрил (Б). Градиентный режим элюирования: 0,00 – 1,00 мин 15 % элюента Б; 1,01 мин – 11,00 мин. 15 – 95 % Б; 11,01 – 13,00 мин. 95 % Б; 13,01 – 19,00 мин. 15 % Б. Температура термостата колонки - 40 °С, скорость подачи элюента – 0,7 мин. Оптимальные условия пробоподготовки достигнуты использованием ацетонитрила в качестве экстрагента. Валидационные параметры соответствуют критериям приемлемости.

Применимость методики проверена на корневищах лапчатки, искусственно заражённых ФОП. Предел обнаружения рассчитывали методом экстраполяции, для каждого пестицида он составил 0,5 нг/мл. У всех определяемых пестицидов степень извлечения находилась в диапазоне от 78 до 105%, что соответствует критериям валидации аналитических методик для определения остаточных пестицидов в сырье.



---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭМУЛЬСИОННОГО ЭКСТРАКТА ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ЕЛИ

Хуршкайнен Т.В., Скрипова Н.Н., Никонова Н.Н., Кучин А.В.  
Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, hurshkainen@mail.ru

Возобновляемое растительное сырье является источником биологически активных веществ, на основе которых получают препараты для медицины, фармакологии, ветеринарии, сельского хозяйства и т.д. Древесная зелень (ДЗ) ели, являющаяся отходом лесоперерабатывающих производств, это источник природных фенольных соединений, обладающих антиоксидантными, противогрибковыми, антибактериальными, фунгицидными свойствами [1].

Для выделения экстрактивных веществ (ЭВ) из растительного сырья используются методы экстракции водой, органическими растворителями, сжиженными газами. Критерий выбора метода экстракции основан на максимальной степени извлечения ЭВ при минимальной степени деструкции. Первостепенное значение при этом имеет выбор экстрагента. Основные требования, предъявляемые к растворителям: высокая экстрагирующая способность, химическая инертность по отношению к целевым компонентам, стабильность к температурным и химическим воздействиям при проведении экстракции. Важным условием использования растворителя в производстве являются его малотоксичность, регенерируемость, пониженная взрыво- и пожароопасность.

Способ эмульсионной экстракции растительного сырья, разработанный в Институте химии Коми НЦ УрО РАН, имеет преимущества по сравнению с действующими: мягкие температурные условия экстракции, позволяющие извлечь из сырья и сохранить природные биологически активные компоненты; экологическая безопасность технологического процесса без использования токсичных органических растворителей; высокая экстрагирующая эффективность технологического процесса, позволяющая извлекать из сырья гидрофильные и гидрофобные соединения; простое аппаратное оформление и использование стандартного оборудования, следовательно низкая себестоимость продуктов переработки [2].

Эмульсионный способ экстракции заключается в обработке измельченного растительного сырья водным раствором основания. Выход ЭВ из ДЗ ели достигает 10% от массы сухого сырья. Для исследования фенольных соединений из эмульсионного экстракта ели выделены кислые компоненты кислотно-основным методом. Количественное содержание фенольных соединений составило 0.65% (определяли с использованием реактива Фолина-Чокальтеу по галловой кислоте) от суммы ЭВ, содержание флавоноидов по рутину – 0.25%.

Для исследования компонентного состава фенольных соединений проведено фракционирование кислых компонентов методом колоночной хроматографии на силикагеле. Полученные фракции, содержащие фенольные соединения, рехроматографированы на полиамиде. По спектральным данным идентифицированы мажорные соединения: гидроксиацетофеноны и оксикоричные кислоты.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-73-20091.*

### Литература:

1. Metsamuuronen S., Siren H. Bioactive phenolic compounds, metabolism and properties: a review on valuable chemical compounds in *Scots pine* and *Norway spruce* // *Phytochem Rev.* 2019. V.18. P.623–664.
2. Хуршкайнен Т.В., Скрипова Н.Н., Кучин А.В. Сравнительная оценка экстракционного оборудования для эффективного выделения экстрактивных веществ хвойной древесной зелени // *Теоретическая и прикладная экология.* 2017. №1. С.25-30.



## ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ВИНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Цыгурина К.А., Пасечная Е.Л., Письменская Н.Д., Мелконян К.И.\*,  
Козмай Я.А.\*, Русинова Т.В.\*

ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет, Краснодар, kseniya\_alx@mail.ru

\*ФГБОУ ВО Кубанский государственный медицинский университет  
Министерства здравоохранения РФ, Краснодар

Соки и виноматериалы составляют неотъемлемую часть нашей жизни. Электродиализ (ЭД) позволяет быстро и эффективно деминерализовать раствор полифенолов, разделить компоненты, выделить и сконцентрировать наиболее ценные вещества. Однако, на сегодняшний день остро стоят проблемы фаулинга и низкие выходы по току.

Материалы и методы. Эксперимент проводился в лабораторном шестикамерном электродиализаторе с рабочей площадью  $7,29 \text{ см}^2$ . В течение 10 часов на систему накладывался ток величиной  $8,88 \text{ мА}$  (или  $1,22 \text{ мА/см}^2$ ), из соображений, что это  $0,6$  от предельного тока, определённого из вольтамперных характеристик мембраны. Китайские мембраны CJMC-5 и CJMA-6 (рисунок 1, фрагменты 1 и 2 соответственно) составляли камеры обессоливания (КО) и концентрирования (КК) электродиализатора. Во всех отсеках был раствор  $\text{KCl}$   $0,4 \text{ г/л}$  с  $\text{pH}=3,25$ ; модельный раствор вина в камере обессоливания содержал  $\text{KCl}$   $0,4 \text{ г/л}$ ,  $\text{H}_2\text{T}$   $2 \text{ г/л}$ , этиловый спирт  $10\%$  и раствор антоциана в пересчёте на антоцианы  $20 \text{ мг антоциана/л}$ . Линейная скорость прокачивания растворов была  $0,42 \text{ см/с}$ . Антоцианы определялись методом спектрофотометрии, ионы калия, тартраты и хлориды определялись на хроматографе.

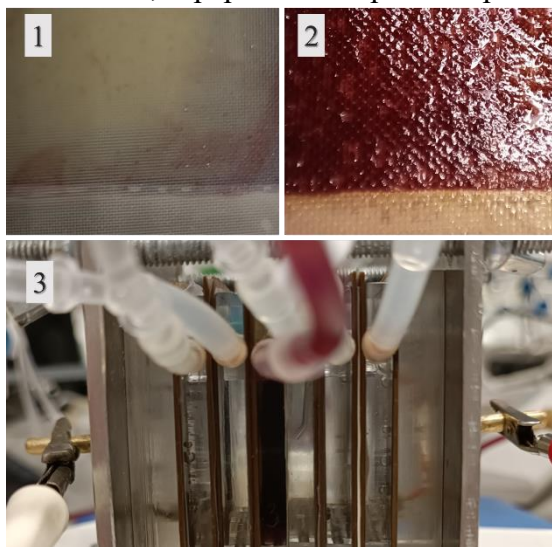


Рисунок 1. КОМ (1) и АОМ (2),  
составляющие КО лабораторного  
электродиализатора (3)

Результаты. В ходе ЭД переработки (рисунок 1, фрагмент 3) раствора, имитирующего виноматериал, после 10 часов обессоливания, концентрации компонентов раствора  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{T}^{2-}$  снизились на  $79,3\%$ ,  $87,4\%$  и  $65,3\%$  соответственно. Спектрофотометрический анализ показал, что количественных изменений антоцианов в растворе не произошло. Однако на поверхности и в объеме анионообменной мембраны появился слой полифенолов, чего практически не наблюдалось на катионообменной мембране.

Выводы. Метод ЭД перспективен для быстрой деминерализации вин, соков или стоков, содержащих полифенольные соединения, например, антоцианы и органические кислоты. Дальнейшая работа будет направлена на уточнение механизмов взаимодействия антоцианов с материалом катионообменных и анионообменных мембран и на основе этих знаний, поиск устойчивых к деградации и фаулингу полифенольными соединениями мембран, а также определение наиболее оптимальных условий,

обеспечивающих более высокие выходы по току.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/130.*

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММЫ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЕРЕГОРОДКАХ ПЛОДОВ ОРЕХА ГРЕЦКОГО. ЭТАП ПЕРВЫЙ: ВЫБОР ЭКСТРАГЕНТА

Чуб С.К.

Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУВО Волгоградский государственный медицинский университет Министерства Здравоохранения РФ, Пятигорск, svetlanachub07@gmail.com

Орех грецкий (*Juglans regia* L.) применяется как в пищевой промышленности, так и в народной медицине и косметологии. Спиртовые извлечения, полученные из перегородок ореха грецкого, используют для лечения заболеваний щитовидной железы [1].

Основными биологически активными соединениями перегородок ореха грецкого являются фенольные соединения [2].

Цель исследования – выбор экстрагента для извлечения максимального количества фенольных соединений из перегородок плодов ореха грецкого.

Объект исследования – перегородки плодов ореха грецкого восковой спелости. Экстрагент – спирт этиловый различной концентрации в соотношении сырьё-экстрагент (1:5).

Сумму фенольных соединений определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокалтеу [3]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики анализа извлечений из перегородок ореха грецкого, полученных с использованием спирта различной концентрации

Концентрация спирта этилового	n	f	$\bar{x}$ , %	$s^2$	s	$s_{\bar{x}}$	P, %	T (P,f)	$\Delta x$	$\varepsilon$
95%	3	2	24,74	0,33	0,58	0,33	95	4,3	1,43	5,79
85%	3	2	37,36	0,51	0,71	0,41	95	4,3	1,77	4,74
80%	3	2	40,29	0,68	0,83	0,48	95	4,3	2,05	5,10
70%	3	2	43,65	0,63	0,79	0,46	95	4,3	1,97	4,52
60%	3	2	47,36	0,48	0,70	0,40	95	4,3	1,73	3,64
50%	3	2	42,51	0,29	0,54	0,31	95	4,3	1,33	3,13
40%	3	2	46,90	0,25	0,50	0,29	95	4,3	1,24	2,65
30%	3	2	46,73	1,05	1,02	0,59	95	4,3	2,54	5,43

Таким образом, наибольшее количество фенольных соединений извлекается спиртом этиловым 60% –  $47,4 \pm 1,73\%$ , спиртом этиловым 40% –  $46,9 \pm 1,24\%$ .

В ходе исследования установлено, что максимальное количество фенольных соединений экстрагируется спиртом этиловым 60%, минимальное – спиртом этиловым 95%. Для дальнейшей работы в качестве экстрагентов были выбраны спирт этиловый 60% и 40%.

## Литература:

1. Горохова С.В. Полезные свойства представителей рода *Juglans* L. / С.В. Горохова // Вестник ИрГСХА. – 2011. – №44 (4). – С.34-40.
2. Чебышев Н.В. Изучение внешних признаков, микроскопии и химического состава перегородок грецкого ореха / Н.В. Чебышев, Л.О. Мартемьянова, А.В. Стреляева, Д.И. Лежава, Р.М. Кузнецов // Сеченовский вестник. – 2018. – №4. – С.60-69.
3. Мальцева Е.М. Антиоксидантная и антирадикальная активность in vitro экстрактов травы *sanguisorbaofficinalisl.*, собранной в различные фазы развития / Е.М. Мальцева, Н.О. Егорова, И.Н. Егорова, Р.А. Мухамадияров. // Медицина в Кузбассе. –2017. – №2. – С.32-38.

---

## **РАЗДЕЛ 3**

# **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ: СОСТАВ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ**

---

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ *SCUTELLARIA PHYLLOSTACHYA* JUZ. И *SCUTELLARIA CORDIFRONS* JUZ.

Абдуллаев Ш.В., Сиддиков Г.У., Абдуллаев М.М.  
НамГУ. Наманган, Узбекистан, abdullaev\_sh\_v@mail.ru

Выделение лекарственных веществ из растений, их химическое строение и определение биологической активности, использование в практических целях является ведущим актуальной задачей. В научной медицине 45% лекарственных препаратов выделяются из растений. В настоящее время потребность в природных лекарственных препаратах возрастает. Так как синтезированные препараты, хотя быстро и качественно действуют, но при долгом их применении в организме происходят нежелательные явления. Растения рода *Scutellaria* L. (шлемник) содержат фенолкарбоновые кислоты, фенилпропаноиды, иридоидные гликозиды, дитерпены, флавоноиды, лигнаны и другие природные соединения многие из которых широко используются в медицине как эффективные лекарственные средства.

Изучено более 65 видов растений *Scutellaria* из которых выделено около 330 фенолсодержащих веществ. Впервые из растения *Scutellaria phyllostachya* Juz. и *Scutellaria cordifrons* Juz., произрастающих в Республике Узбекистан, выделены 26 флавоноидов, в том числе 14 гликозидов и 12 агликонов.

Определено, что из выделенных веществ 20 являются флавонами, 5 – флаванонами, 1 – изофлавононом.

На основании химических и физико-химических методов доказано, что вещества (+)-5,2'-дигидрокси-6,7,6'-триметоксифлаванон, (+)-5,2'-дигидрокси-6,7,8,6'-тетраметоксифлаванон являются новыми флаванонами.

Определены фармакологические гепатозащитные свойства выделенных веществ из растений *Scutellaria phyllostachya* Juz., *Scutellaria cordifrons* Juz. при отравлении парацетамолом и гелиотрином.

Определено, что оробол-7-О-β-D-глюкопиранозид, выделенный из растения *Scutellaria phyllostachya* Juz., по своим гепатопротекторным свойствам оказался более эффективным, чем препарат легалон.

Исследованы красящие свойства водного, водно-спиртового, спиртового экстрактов из надземной части и корней растений при крашении шерсти, полушерсти с использованием различных солей, получен широкий спектр оттенков. На основании опытов для материалов (шерсть, полушерсть, природный шелк) предложены оптимальные условия окрашивания.

---

## СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ГРУПП ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ 200 ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Аксёнов А.А., Кроль Т.А., Балеев Д.Н., Осипов В.И.\*

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва

\*Лаборатория химии природных соединений, университет г. Турку, Финляндия,  
andrej.a.aksenov@gmail.com

Фенольные соединения растений (ФС) представляют собой большую по числу и разнообразную по структуре группу вторичных метаболитов. В растениях они участвуют в многочисленных жизненно важных процессах, таких как дыхание, фотосинтез, адаптация к стрессам и рост. Кроме того, попадая в организм человека с пищей или в составе медицинского препарата, ФС могут защищать его от окислительного стресса, а также проявляют противовирусное и противоопухолевое действие. Целью наших исследований является поиск растений – продуцентов ФС, разработка эффективных методов их выделения, установление структуры и выявление их биологической активности. В ботаническом саду ВИЛАР произрастает около 1700 видов растений, принадлежащих 93 семействам, и изучение их биохимического состава с использованием современных физико-химических методов является важной задачей. В связи с этим, было проведено изучение содержания основных групп ФС в листьях 200 видов лекарственных растений, интродуцированных в Ботаническом саду ВИЛАР.

Для количественного анализа основных групп ФС: эллаготаннинов, галлотаннинов, процианидинов, проделфинидинов, производных хинной кислоты, кемпферола, кверцетина и мирицетина использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографию в комбинации с диодным и масс-спектрометрическим детекторами (УЭЖХ-ДД-МС), а также метод мониторинга множественных реакций (Engström et al., 2015). Математический анализ полученных результатов проводили в среде языка программирования R версии 4.0.5.

В результате установлено, что исследованные виды растений формируют три кластера, отличающиеся по составу и содержанию основных групп ФС. Из них наиболее важными являются первый кластер, виды растений которого характеризуются высоким содержанием гидролизуемых (галло- и эллаготаннины) таннинов и второй кластер, где преобладают растения с высоким содержанием конденсированных (проделфинидины и процианидины) таннинов. Виды растений в третьем кластере содержали значительно меньше ФС, среди которых основными являлись производные хинной кислоты (3,92 мг/г), а производные кемпферола, кверцетина и мирицетина составляли 0,95, 1,38 и 0,04 мг/г соответственно. Таким образом, в результате исследования были определены виды с наиболее высоким содержанием гидролизуемых таннинов: *Cornus sanguinea*, *Hippophae rhamnoides*, *C. sericea*, *Filipendula ulmaria*, *C. alba*, *F. stepposa*, *F. palmata* (содержание 76,39, 73,37, 61,03, 39,75, 29,18, 27,26 и 25,96 мг/г соответственно) и конденсированных таннинов: *Maesa sinensis*, *Hypericum ascyron*, *Astilbe chinensis*, *Agrimonia asiatica*, *Reynoutria sachalinensis*, *Crataegosorbus miczurinii* (содержание 82,48, 81,08, 58,48, 57,77, 49,24, 39,35 мг/г соответственно). В настоящее время, у этих видов растений детально исследуется состав и содержание индивидуальных ФС, а также биологическая активность выделенных ФС.

### Литература:

Engström M.T., Päljärvi M., Salminen J.-P. Rapid fingerprint analysis of plant extracts for ellagitannins, gallic acid and quinic acid derivatives, and quercetin-, kaempferol- and myricetin-based flavonol glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS. *J. Agric. Food Chem.* 2015. 63(16): 4068–4079.

## ЭЛИСИТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГИПЕРТЕРМИИ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ *CAMELLIA SINENSIS* L.

Аксенова М.А., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, akse.masha@yandex.ru

Фенольные соединения (ФС) являются широко распространенными вторичными метаболитами высших растений, которые синтезируются во всех их клетках и выполняют различные функции. Интерес представляют фармакологически ценные свойства полифенолов, которые проявляются в антиоксидантной, иммуностимулирующей, антибактериальной, капилляроукрепляющей, противоопухолевой и противовирусной активности. Наибольшего внимания заслуживает изучение роли ФС в защите растительных клеток от различных стрессовых воздействий, к числу которых относят экстремальные температуры. Значительное снижение или повышение их относительно нормы может приводить к различным метаболическим изменениям, в том числе образованию ФС.

Чайное растение (*Camellia sinensis* L.) характеризуется специализированным обменом, направленным на накопление различных фенольных метаболитов. Его рост в значительной степени зависит от температуры выращивания, оптимум которой составляет 18-20°C, и ее допустимого диапазона (12-30°C). В связи с ограниченным ареалом произрастания чая, для изучения его метаболизма успешно используются культуры клеток и тканей, выращиваемые в условиях *in vitro*. Их характерной особенностью является сохранение большинства свойств исходных эксплантов, в том числе накопление фенольных соединений.

Цель исследования – изучить влияние кратковременного действия высоких температур на накопление ФС в каллусных культурах чайного растения.

Объект исследования - гетеротрофная каллусная культура чая, выращиваемая в камере фитотрона ИФР РАН в темноте при 25°C и относительной влажности воздуха 70% на питательной среде Хеллера с 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой (5 мг/л) и глюкозой (25 г/л). Длительность пассажа составляла 38 дней. При постановке опытов каллусы помещали в жидкую питательную среду того же состава и культивировали на качалке при перемешивании. Через 7 дней для изучения действия гипертермии использовали две температуры (38°C и 45°C) и два времени воздействия (30 и 60 мин). Контроль выращивали в нормальных условиях (25°C). Материал для анализа брали через 30 минут и через 5 дней после воздействия гипертермии.

Для извлечения ФС проводили экстракцию каллусных культур 96%-ным этанолом при 45°C в течение 45 мин. Содержание суммы ФС анализировали спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина-Чокольтеу. Количество этих веществ рассчитывали по калибровочному графику и выражали в мг-экв. галловой кислоты/г сухой массы.

Согласно полученным данным кратковременное воздействие гипертермии на каллусы чая в большинстве случаев приводило к повышению накопления ФС через 30 мин после его завершения. Наибольшие изменения были отмечены при действии 38°C в течение 30 мин, когда их уровень почти в 2 раза превысил значения контроля. Примерно аналогичный эффект, хотя и более низкий (в 1,5 раза), был отмечен в варианте с действием 45°C в течение 60 мин. В остальных вариантах изменения в содержании ФС были незначительны. Через 5 дней после действия высоких температур количество этих вторичных метаболитов во всех вариантах было на уровне контроля, за исключением культуры, подвергнутой 30 мин воздействию 45°C.

Полученные данные свидетельствуют о регуляторном действии гипертермии на накопление ФС в каллусных культурах чайного растения и этот эффект зависит как от значений температуры, так и от ее длительности.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).*



---

## ФЛАВОНОИДЫ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ФЛОРЫ ГРУЗИИ

Алания М.Д., Сутиашвили М.Г., Сагареишвили Т.Г., Шалашвили К.Г., Кавтарадзе Н.Ш.  
Институт фармакохимии им. И.Г. Кутателадзе, Тбилиси, Грузия  
Тбилисский государственный медицинский университет, Тбилиси, Грузия, m.alania@tsmu.edu

Растения флоры Грузии выделяются богатым содержанием фенольных соединений, проявляющих разнообразные биологические активности: антиоксидантный, гипоазотемический, гиполипидемический, гипогликемический, лейкопоезный и другие.

Глубокому фитохимическому изучению были подвергнуты виды растений: *Astragalus falcatus* Lam., *Astragalus brachycarpus* M. Bieb., *Astragalus bungeanus* Boiss., *Astragalus kadschorensis* Bunge., *Pueraria hirsuta* (Thunb.) Matsum., *Trifolium arvense* L., *Salvia garedji* Troitzk., *Rhododendron ponticum* L.

Из надземных частей *Astragalus falcatus* выделены: каликозин, изокверцитрин, астрагалин, робинин, сульфуретин, изоликвиригенин; из листьев *Astragalus brachycarpus* – кемпферол, кверцетин, астрагалин, трифолин, изокверцитрин, гиперин; из надземных частей *Astragalus bungeanus* и *Astragalus kadschorensis* – космосин, астрагалин, трифолин, изокверцитрин; из корней *Pueraria hirsuta* – новый изофлавоон - 7, 3', 4' - тригидроксиизофлавоон – 7 - О - β - D - глюкопиранозид, а также даидзин, генистин, ононин даидзеин; из надземных частей *Trifolium arvense* изолированы лютеолин, рутин, изокверцитрин, формононетин; из надземных частей *Salvia garedji* выделены и охарактеризованы – 7 - О - β - D - глюкуроны лютеолина, непетина и апигенина, гиспидулин, непетин, салвигенин, цирзимаритин.

Структуры выделенных соединений установлены изучением физико-химических свойств и при помощи современных спектральных методов: ИК, УФ, ЯМР, масс-спектропии.

Экстрактивные вещества проявляют специфические биологические активности. По данным департамента предклинического фармакологического исследования института фармакохимии И. Г. Кутателадзе, очищенные экстракты из *Astragalus bungeanus*, *Astragalus kadschorensis*, *Rhododendron ponticum* в эксперименте *in vivo* проявляют лейкопоезную активность.

Водная, спиртовая и ацетонная вытяжки полученные из *Salvia garedji* показывают высокую антиоксидантную активность относительно линии клеток WS1 (фибробласты нормальной кожи человека).

Исследование гепатопротекторного действия суммы изофлавонов полученной из корней *Pueraria hirsuta* на модели острого повреждения печени, вызванного четыреххлористым углеродом, показало, что исследованная сумма на 95% уменьшает гепатотоксическое действие CCl<sub>4</sub>, что выражается, в частности, в резком снижении смертности животных и нормализации продолжительности нембутал-индуцированного сна.

---

## ПОЛИФЕНОЛЫ *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA* L.

Артикова Г.Н., Эсанов Р.С., Матчанов А.Д.

Институт биоорганической химии им.акад. А.С. Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан,  
artikova.gulzor88@mail.ru

На территории Узбекистана произрастает около 40 видов растений рода *Elaeagnus angustifolia* L. В листьях, плодах, цветках и семенах растения широко распространены флавоноиды и флавоны, как вторичные метаболиты с антиоксидантными и антирадикальными свойствами.

Целью данной работы является изучение содержания полифенолов плодов *E. angustifolia* произрастающий засоленных почвах Приаралья.

Для исследования были использованы мякоть растения *E. angustifolia*. Качественные реакции на фенольные соединения проводили по общепринятой методике. Измельченные высушенные 100 г плодов растения сначала экстрагировали хлороформом (в соотношении 1:10) и очищали от липофильных соединений. Экстракцию проводилась 3 раза, в течение 2 часов. Затем экстрагировали 70%-ным водным ацетоном (в соотношении 1:6), 3 раза, при 55-60° С, в течение 2 часов. 70%-ный водный ацетоновый экстракт собирали, фильтровали, ацетон удаляли с помощью роторного испарителя и получали водную часть. Путем экстрагирования водной части этилацетатом (в соотношении 1:4) в делительной воронке была получена 1500 мл этилацетатная фракция. Затем водную часть экстрагировали н-бутанолом и выделили бутанолную фракцию.

Этилацетатный экстракт высушивали в безводном Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, конденсировали в вакууме (40-45°С) и получали концентрат этилацетата. Концентрат осаждали гексаном (в соотношении 1:4), фильтровали через воронку Шотта №4, и осадок промывали гексаном и получена сумма полифенолов. Сумму полифенолов высушили вакуумно-сушильном шкафе, и получили 1,38%, от воздушно сухого веса сырья.

Бутанолную фракцию конденсировали в роторном испарителе (40-45°С) и получали концентрат бутанола. Концентрат осаждали гексаном (в соотношении 1:4), фильтровали через воронку Шотта №4, и осадок промывали гексаном и получена сумма полифенолов из бутанолной фракции (выход 1,5%).

Для идентификации флавоноидов проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

На основе полученных результатов выявлено, что в составе полифенолов этилацетатной фракции содержится- рутин, галловая и кофейная кислота, а бутанолной фракции – (+)-катехин, цианидин, дельфинидин.

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что полифенолы плодов *E. angustifolia*, произрастающего в засоленных почвах Республики отличается от данных, представленных в литературе, что, по всей вероятности, объясняется различием почвенно-климатических условий произрастания.

---

## ГЕНЫ ШИКИМАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ У *CORNUS SERICEA*, *CORNUS SANGUINEA* И *CORNUS ALBA*

Байкова Ю.П.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных  
и ароматических растений, Москва, baykova@vilarnii.ru

Гидролизуемые танины (ГТ) – это группа фенольных соединений растений, которые обладают разнообразной биологической активностью. Биосинтез ГТ осуществляется из шикимовой кислоты, промежуточного соединения шикиматного пути, и катализируется ферментом шикиматдегидрогеназой (ШДГ). Этот фермент выполняет важную роль в образовании галловой кислоты – исходного соединения пути синтеза ГТ в растениях. Однако его роль в регуляции биосинтеза ГТ изучена недостаточно. В настоящее время гены, кодирующие ШДГ, охарактеризованы только у нескольких видов растений (Hamberger, 2006). Ранее, в результате сравнительного изучения содержания ГТ в листьях различных видов лекарственных растений, были определены три вида: *Cornus sericea* L., *Cornus sanguinea* L. и *Cornus alba* L., которые накапливали особенно большие количества ГТ. В связи с этим, они были выбраны нами в качестве основных объектов изучения роли ШДГ в регуляции биосинтеза ГТ. Целью данного исследования был поиск генов, кодирующих ШДГ, дизайн праймеров и оптимизация протокола постановки полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ).

Геномную ДНК выделяли СТАВ-методом (концентрация 2 и 10 %) и очищали 12-часовой инкубацией при -20 °С с 3М ацетатом натрия и 95% этанолом с последующей отмывкой 70% этанолом и растворением чистого осадка в воде. Для постановки ПЦР-РВ использовали готовую смесь qPCRMix-HS SYBR+LowROX согласно инструкции. Полученные данные анализировали при помощи программы QuantStudio Design & Analyses Software.

В связи с тем, что для изучаемых видов в настоящее время нет секвенированных геномов и высокопроизводительных сиквенсов, на первом этапе для сборки транскриптов *de novo* использовали риды RNA-seq для близкородственного вида *C. kousa* (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra/SRX8542400%5Baccn%5D>). В результате биоинформационного анализа были подобраны 4 пары праймеров на гены, предположительно кодирующие ШДГ: SDH1 (F 5'-cgacagggtgcacttaagatag-3' и R 5'-ctagattgccaatagcctcagcg-3'), SDH2 (F 5'-agttcttagagtctactcagc-3' и R 5'-atctgtattatagccaaccagc-3'), SDH3 (F 5'-ccttagacatcaccgattcagca-3' и R 5'-ccactctcatcaacagaacc-3'), SDH4 (F 5'-caactggtcacccttgctg-3' и R 5'-gggtgctattccgatagaggtg-3') и праймер на «хаузкипинг-ген» 18S\_rRNA (F 5'-cgtccctgcctttgtacac-3' и R 5'-cgaacactcaccggaccatt-3'). Для проведения ПЦР-РВ использовали оптимальные значения концентрации ДНК в пробе (50 нг) и температуры отжига (60°C).

В результате ПЦР-РВ, проведенной с образцами исследуемых видов *Cornus*, показано, что амплификация прошла только с праймерами 18S\_rRNA и SDH4. Методом горизонтального электрофореза установлено наличие у *C. sericea*, *C. sanguinea* и *C. alba* как минимум одного гена, кодирующего ШДГ. Для выявления других генов-кандидатов, а также анализа экспрессии обнаруженного гена SDH4, необходимы дальнейшие исследования.

### Литература:

Hamberger, B. Comparative genomics of the shikimate pathway in *Arabidopsis*, *Populus trichocarpa* and *Oryza sativa*: shikimate pathway gene family structure and identification of candidates for missing links in phenylalanine biosynthesis / B. Hamberger, J. Ehling, B. Barbazuk et al. // *Recent Advances in Phytochemistry*. – 2006. – V. 40. – P.85-113.

---

## ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ИНФИЦИРОВАННЫХ PVY ЛИСТЬЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИММУНОСТИМУЛЯТОРАМИ

**Балюк Н.В., Ламан Н.А., Калацкая Ж.Н.**

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, balyuck.natalya@yandex.ru

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) заражается многими вирусами, вызывая заметное ухудшение качества семенной продукции и существенные потери урожая [1] в настоящее время одним из наиболее вредоносных вирусов картофеля считается PVY (Y-вирус), способный вызывать до 80 % потери урожая картофеля в зависимости от региона, сорта и различных факторов окружающей среды [2]. Повышение иммунного статуса растений возможно за счет применения иммуностимуляторов, позволяющих индуцировать естественные защитные механизмы. В последние десятилетия в мире интенсивно исследуют действие на растения салициловой кислоты (СК), жасмонатов (МеЖ) и брассиностероидов (БС) [3]. Молекулярные исследования свидетельствуют, что существует перекрестные связи между БС, сигнальными молекулами и другими фитогормонами [4, 5].

Проведенные исследования выявили торможение роста побегов картофеля на 15,2 % при инфицировании PVY по сравнению с незараженными растениями. Сравнительный анализ степени вирусного инфицирования листьев картофеля выявил различия при обработке 24-эпибрассинолидом с сигнальными молекулами. В отсутствие обработки степень инфицирования увеличилась в 3 раза, что сопровождалось повышением общей активности пероксидазы на 50% и фенольных соединений на 58,4%. Предварительная обработка 24-эпибрассинолидом, в том числе в сочетании с СК и МеЖ, снижала накопление вирусных частиц в листьях на 31–43%, снижая стресс-индуцируемое накопление фенольных соединений, но повышая общую активность пероксидазы, однако, в варианте с МеЖ наблюдалось снижение активности пероксидазы на 35% по отношению к зараженным растениям.

Обработка растений картофеля 24-эпибрассинолидом в сочетании с МеЖ обеспечивала значительное снижение накопления и активности основных соединений, определяющих стрессовое состояние, что по сравнению с другими обработками, вероятно, свидетельствует о наиболее эффективном синергетическом составе для преодоления неблагоприятного воздействия вирусного заражения растениями картофеля.

*Автор выражает благодарность сотрудникам РУП «НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству» и Института биоорганической химии НАН Беларуси за предоставленный вирусный материал и иммуностимуляторы.*

### Литература:

1. Макарова С.С. и др. Устойчивость картофеля к вирусам: современное состояние и перспективы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, №1. С. 62-73.
2. Solomon-Blackburn R.M., Barker H.A. A review of host major-gene resistance to Potato viruses X, Y, A, and V in potato: genes and mapped locations // Heredity. 2001. V.86. P. 8-16.
3. Bajguz, A. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses / A. Bajguz, S. Nayat // Plant Physiol. Biochem. 2009. V. 47. P. 1–8.
4. Divi U.K., Rahman T., Krishna P. Brassinosteroid mediated stress tolerance in Arabidopsis shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways // BMC Plant Biology. 2010. V.10. P. 151-164.

---

## **ФЕНОЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС *CAMELLIA SINENSIS* И ЕГО УЧАСТИЕ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ НА СТРЕСС**

**Белоус О.Г., Платонова Н.Б.**

ФГБУН ФИЦ Субтропический научный центр РАН, Сочи, natali1875@bk.ru

Самым большим и одним из наиболее изученных классов фенольных соединений, широко распространенных в растениях (Запрометов, 1974; Wright, 2002; 198. Peterson et al., 2005; Veitch, 2011; Тараховский и др., 2013; др.), являются флавоноиды. В растениях чая основными флавоноидами являются теафлавины и теарубигины, обуславливающие цвет настоя и качественные характеристики готового продукта.

Зона влажных субтропиков России уникальна по своим климатическим условиям (в том числе и по подбору стрессовых факторов), а растения, выращиваемые в данном регионе, обладают специфической биологией. Летний период в субтропиках России характеризуется не только неравномерностью выпадения осадков, но и высокой температурой воздуха, а также, лимитом доступной почвенной влаги. Это создает на побережье условия для ежегодно повторяющихся засушливых периодов, в которые наблюдается приостановка роста растений, их подвядание и даже высыхание. Влияние данных стрессоров приводит как к значительным потерям урожая субтропических плодовых культур (у которых происходит усиленное опадение завязи), чая (в связи с прекращением образования качественных флешей).

Для растений чая немаловажными компонентами антиоксидантной системы являются фенольные соединения. Одним из показателей как устойчивости растений, так и качества чая является количественное содержание флавоноидов.

Исследованиями, проведенными нами в течение 2017-2021 гг., показано, что накопление флавоноидов в листьях чая достаточно динамичный процесс (Белоус, Платонова, 2019; Платонова, Белоус, 2020; Платонова, 2021; Belous, Platonova, 2017, 2019, 2021 и др.). В начале вегетации (с мая по июнь) отмечается активный рост их содержания (теафлавины до 0,106 мг/г и теафлавины до 1,516 мг/г), который к июлю сменяется таким же активным снижением количества флавоноидов. К августу их количество достигает июньского уровня (0,111 и 1,434 мг/г, соответственно).

Такие изменения полностью соответствуют изменению погодных условий, а именно, влиянию гидротермических факторов на синтез данных соединений. Так, проведенный нами регрессионный анализ показал не только тесную взаимосвязь флавоноидов друг с другом, но и выявил значимое влияние такого фактора, как количество осадков на синтез теарубигинов. При уменьшении количества осадков содержание флавоноидов увеличивается. Корреляционный анализ показал, что данный фактор оказывает немалое влияние на динамику обоих флавоноидов, коэффициент корреляции по TFs...-0,89; по TRs...-0,99. В то же время, температура воздуха в период вегетации, как фактор, не оказывает значимого влияния на синтез теафлавинов и теарубигинов ( $r = -0,17 \dots -0,49$ ).

Таким образом, нами показано, что содержание флавоноидов в чае достаточно динамично, полностью коррелирует с неблагоприятными условиями, в частности, количеством осадков. Их количество активно синтезируется растением в ответ на засушливые условия.



---

## РОЛЬ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕФИЦИТУ КИСЛОРОДА И ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ОКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ

Бертова А.Д., Емельянов В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, bootika@mail.ru

Салициловая кислота (СК) — фитогормон, участвующий в адаптации растений к факторам окружающей среды. Вовлеченность СК в ответ растений показана для целого ряда абиотических воздействий, однако роль СК в адаптации к дефициту кислорода и окислительному стрессу в ходе реаэрации изучена мало. Целью исследований было охарактеризовать роль СК в растениях при воздействии аноксии и постаноксической реаэрации. Объектами исследований являлись 10-дневные проростки устойчивого к аноксии растения риса (*Oryza sativa*, L.), 7-дневные проростки неустойчивого к аноксии растения пшеницы (*Triticum aestivum*, L.), а также 49 видов растений гидрофитов, произрастающих в Ленинградской области.

Анализ эндогенного содержания СК показал, что при нормоксии уровень свободной СК в побегах риса в 20 раз превышал таковой в побегах пшеницы. Отмечалось двукратное увеличение уровня свободной СК в побегах риса при действии аноксии и дальнейшее его снижение в ходе реаэрации до контрольных значений. Уровень связанных форм СК при этом снижался. В проростках пшеницы не было выявлено изменений содержания свободной СК при аноксии. Повышенный уровень СК был отмечен у 21 видов гидрофитов из семейств Яснотковые, Злаки, Ароидные, Рдестовые и Рогозовые.

Мы провели анализ экспрессии 11 генов риса и 7 генов пшеницы, кодирующих ферменты метаболизма и белки ответа на СК. В условиях аноксии у риса активировалась транскрипция генов биосинтеза (*OsICS1*, изохоризматсинтаза) и деконъюгации (*OsBGlu*, β-гликозидаза) СК. В ходе реаэрации у риса и пшеницы повышалась экспрессия генов фенилаланин-аммиаклиаз (*OsPAL*, *TaPAL*). При аноксическом воздействии у риса и пшеницы снижалась экспрессия генов салицилат-гликозилтрансферазы (*OsSGT*, *TaSGT*), образующей конъюгированную форму СК. Экспрессия генов риса и пшеницы, вовлеченных в сигналинг (*OsNPR1*, *TaNPR1*) и ответ (*OsAOX1*, *TaAOX1*) на СК, увеличивалась в условиях аноксии и реаэрации.

Нами было изучено влияние экзогенной предобработки СК на жизнеспособность и окислительные процессы у риса и пшеницы при аноксическом воздействии. Тетразолиевый тест выявил повышенную жизнеспособность обработанных проростков пшеницы при действии аноксии и реаэрации, а выход электролитов из корней обработанных растений снижался на 10%. У риса жизнеспособность проростков и выход электролитов в тех же условиях не изменялись при обработке СК. Предобработка проростков пшеницы приводила к снижению перекисного окисления липидов (ПОЛ) и уменьшению продукции перекиси водорода в условиях реаэрации. Уровень ПОЛ в обработанных СК проростках риса увеличивался в ходе реаэрации, а продукция перекиси водорода не изменялась.

Мы предполагаем, что высокий эндогенный уровень СК у риса и других гидрофитов связан с их устойчивостью к дефициту кислорода и окислительному стрессу при реаэрации. Накопление СК у риса в ходе аноксии происходит, вероятно, за счет синтеза по изохоризмат-синтазному пути и гидролиза связанных форм СК, на что указывают уровни экспрессии генов соответствующих ферментов. Активация транскрипции генов ответа на СК у риса и пшеницы также указывает на вовлеченность СК в ответ растений на аноксическое воздействие. Результаты наших исследований свидетельствуют о положительном эффекте предобработки СК на жизнеспособность пшеницы, неустойчивого к дефициту кислорода растения. Показано полномасштабное участие СК в регуляции устойчивости к абиотическому стрессу, вызванному недостатком кислорода и последующей реаэрацией.

*Исследование поддержано РНФ № 22-24-00484.*



## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA*×*ANANASSA* DUCH.) ПРИ ОБРАБОТКАХ ШТАММАМИ АССОЦИАТИВНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

**Бобкова В.В., Мотылева С.М., Коновалов С.Н., Мертвищева М.Е., Чеботарь В.К.\***

ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства  
и питомниководства, Москва, vstisp.agrochem@yandex.ru

\*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии

Фенольные соединения, образуемые при взаимодействиях растений и микроорганизмов, выполняют разнообразные функции, могут подавлять патогены растений, ингибировать процессы нитрификации в ризосфере, действовать как сигнальные молекулы (Santi M. Mandal, Dipjyoti Chakraborty, Satyahari Dey, 2010; Wallis C.M., Galarneau, 2020). В системах «растение-почва» фенольные соединения представляют большой интерес из-за их действия как аллелопатических соединений, регуляторов роста растений, метаболитов стресса, защитных молекул при взаимодействии растений с патогенами, сигнальных молекул в растительных микробных системах (José O. Siqueira, et al., 1991). Многолетние растения более активно вырабатывают фенольные соединения в ответ на колонизацию микроорганизмами, чем травянистые однолетние растения. Имеются данные, свидетельствующие, что бактерии *Bacillus subtilis* способны активно вырабатывать фенольные соединения, в частности, Shikimic acid (Bochkov D.V. et al., 2012).

Целью исследований является изучение в вегетационном опыте на землянике садовой сорта Русич воздействия прикорневых и некорневых обработок растений микроорганизмами *Bacillus subtilis*, штаммы 26 Д (микробиологический препарат Фитоспорин-М), Ч13 (микробиологический препарат Экстрасол); V167, V417 (ФГБНУ ВНИИСХМ) на содержание в растениях фенольных соединений. Суммарное содержание фенольных соединений в ягодах определяли методом Фолина-Чокольтеу (РД- 4.1.1672-03) в пересчете на галловую кислоту. Содержание фенольных соединений в составе метаболитов экстрактов плодов (экстрагент – метанол) и листьев (экстрагент – хлороформ) выполняли методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на хроматографе ГХ-МС JMS-Q1050GC («JEOLLtd», Япония). Общую антиоксидантную активность (ОАО) водных и метанольных экстрактов определяли на спектрофотометре Helios  $\alpha$  методом DPPH. Установлено, что в первый год проведения опыта (2020 г.) содержание фенольных соединений в растениях при обработке штаммами *B. subtilis* было более высоким, по сравнению с контролем, и менее выровненным по вариантам опыта, чем на второй год проведения эксперимента, что может свидетельствовать о постепенной адаптации растений к воздействию бактерий. Наибольшим (3,01 мг/г) суммарное содержание фенольных соединений в ягодах было при обработке растений штаммом *B. subtilis* V167. В этом варианте опыта в ягодах были обнаружены такие фенольные соединения, как Shikimic acid и в 2 раза большее, по сравнению с контролем, содержание Arbutin. Это могло быть связано с присутствием в листьях фенольных соединений Tyrosol и Quinic acid. В этом же варианте опыта для листьев отмечалась наибольшая антиоксидантная активность (47,8% – экстракция метанолом, 45,9% – экстракция водой), самое высокое суммарное содержание хлорофиллов а+в, каротиноидов. Как следствие, данный вариант опыта характеризовался наиболее высокими показателями генеративной продуктивности растений: масса ягод с одного растения составила 179 г, количество ягод – 30 шт., что было выше контроля на 31,6% и на 42,9%, соответственно. Таким образом, мы наблюдали влияние обработок на изменение метаболических процессов в листьях и плодах земляники садовой.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект №20-016-00201\21.

---

## ВЛИЯНИЕ МЕЛАТОНИНА НА СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В РАСТЕНИЯХ ОГУРЦА В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

**Бойко Е.В., Головацкая И.Ф., Кадырбаев М.К.**

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
CaterinaSoloveva@gmail.com

Растения ведут прикрепленный образ жизни, в связи с чем постоянно подвергаются действию неблагоприятных факторов окружающей среды, негативно влияющих на рост и развитие растений. Одним из факторов, губительно влияющих на продуктивность растений, является засуха. Водный дефицит вызывает у растений ряд морфо-анатомических, физиологических и биохимических изменений, в основном направленных на ограничение потери и повышение эффективности использования доступной воды. Закрытие устьиц, одна из первых устойчивых реакций на стресс, вызванной засухой. В дальнейшем происходит запуск ряда последовательных физиолого-биохимических приспособлений, направленных на сбалансированность фотосинтетического процесса, а также на усиление защитных барьеров растений, снижающих стресс (например, активация антиоксидантной системы, накопление осмолитов и стимуляция синтеза аквапоринов). Растения реагируют на засуху, перепрограммируя свои транскрипционные, протеомные и метаболические пути, чтобы защитить клетки от повреждений, вызванных стрессором. Способность растения адекватно отвечать на неблагоприятное воздействие окружающей среды зависит от эффективности защитных механизмов растения. Среди эндогенных систем регуляции растений выделяют гормональную систему. Мелатонин – эволюционно консервативная, полифункциональная молекула индольной природы, с выраженными антиоксидантными свойствами – представляет собою стресс-модулятор и новый потенциальный гормон растений. Мелатонин повышает устойчивость растений к ряду абиотических факторов (засуха, засоление, неблагоприятные температуры и др.) и фитопатогенов. На сегодняшний день недостаточно данных о влиянии мелатонина на содержание вторичных метаболитов – антоцианов, выполняющих антиоксидантные функции в растениях огурца в условиях засухи.

Объектами исследования служили 14-дневные растения *Cucumis sativus* L. раннеспелого сорта Изящный (Агрофирма «СеДеК»). Растения огурца выращивали на безгормональной 50% жидкой среде МС (Мурасиге-Скуга) до 11-дневного возраста, далее воздействовали стрессором в течение 3 суток. Для имитации засухи использовали 4% раствор полиэтиленгликоля 6000 (ПЭГ 4). Три группы растений выращивали на разных средах: 50% МС (контроль), среда с ПЭГ4 и содержащая мелатонин среда (ПЭГ4 + Мел 1 мкМ). В листьях растений огурца были изучены интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), содержание антоцианов и аскорбиновой кислоты.

В результате проведенного исследования установили, что 3-дневное воздействие ПЭГ4 на растения огурца приводило к снижению сырой массы надземного побега на 18%, уровня антоцианов и аскорбиновой кислоты на 17 и 28 % соответственно, тогда как интенсивность ПОЛ возрастала на 27% по сравнению с контролем. Введение же в питательную среду 1 мкМ Мел приводило к уменьшению негативного действия засухи на сырую массу надземного побега и интенсивность ПОЛ (на 19 %), повышению уровня антоцианов на 71 %, восстановлению уровня аскорбиновой кислоты до значений в контрольном варианте. Полученные данные могут свидетельствовать о проявляемых мелатонином антиоксидантных свойствах за счет увеличения уровня низкомолекулярных антиоксидантов. По аналогии с нашими данными, полученными на лихнисе, повышение уровня антоцианов в листьях огурца в ответ на обработку мелатонином, так же может свидетельствовать о его возможной роли в замедлении старения листьев и защите фотосинтетического аппарата от деградации.

*Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).*

---

## ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ИОНОВ КАЛЬЦИЯ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ МЕМБРАНЫ МИТОХОНДРИЙ РАСТЕНИЙ

Буцанец П.А., Шугаева Н.А., Шугаев А.Г.

ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, p.corbeau@list.ru

Салициловая кислота (СК) относится к фитогормонам фенольной природы, и оказывает регуляторное действие на многие физиологические процессы в растениях, включая: термогенез, индукцию устойчивости при атаке патогенов и при действии неблагоприятных условий окружающей среды. С использованием трансгенных растений *Arabidopsis thaliana* было показано, что митохондрии являются одной из мишеней прямого регуляторного действия СК и играют важную роль в процессе формирования устойчивости растений к биотическим и абиотическим стресс-факторам. Вместе с тем, в настоящее время в литературе имеются единичные работы, посвященные выяснению прямого действия СК на метаболическую активность митохондрий растений. Ранее нами было показано, что окисление сукцината митохондриями семядолей *Lupinus angustifolius* L. в присутствии СК индуцировало увеличение проницаемости (пермеабиллизацию) внутренней мембраны для протонов и диссипацию мембранного потенциала ( $\Delta\Psi$ ) вследствие открытия специального разобщающего канала или, возможно, неспецифической поры – РТР (Permeability Transition Pore), которая играет ключевую роль в процессе апоптоза. Кроме того, было обнаружено, что диссипация потенциала ингибировалась ДТТ и антиоксидантами, а СК активировала образование АФК ( $H_2O_2$ ) при окислении сукцината митохондриями, выделенных из семядолей. Исходя из этого, нами было высказано предположение, что возникновение окислительного стресса являлось одним из регуляторных механизмов, способствующих открытию РТР во внутренней мембране под влиянием СК.

В данной работе продолжено изучение условий, приводящих к СК-зависимой пермеабиллизации внутренней мембраны митохондрий выделенных из семядолей этиолированных проростков *L. angustifolius* и гипокотилей этиолированных проростков гороха (*Pisum sativum* L.). Исследуемые митохондрии характеризовались целостными мембранами, а также способностью генерировать при окислении сукцината  $\Delta\Psi$ , обратимо снижать его под влиянием АДФ и устойчиво поддерживать потенциал в течение длительного времени как за счет работы ЭТЦ, так и за счет гидролиза АТФ в условиях анаэробноза. Было показано, что индукция проницаемости внутренней мембраны митохондрий и диссипация  $\Delta\Psi$  под влиянием СК не требовала присутствия в среде инкубации экзогенного  $Ca^{2+}$ . Однако она ингибировалась добавкой в среду инкубации органелл хелатирующего агента – ЭГТА, связывающего  $Ca^{2+}$  присутствующий в ней, очевидно, в виде примеси. Кроме того, было обнаружено, что диссипация  $\Delta\Psi$  под влиянием СК обращалась после добавки в среду инкубации ЭГТА и известного кальциевого ионофора А23, очевидно, вследствие снижения уровня  $Ca^{2+}$  в матриксе митохондрий в процессе его выхода из органелл. В этом случае изменения величины мембранного потенциала приобретали волнообразный характер. Таким образом, полученные результаты выявили важную регуляторную роль ионов  $Ca^{2+}$  в регуляции повышенной проницаемости внутренней мембраны митохондрий растений, что характерно для функционирования РТР.

## АНТОЦИАНЫ НОВОГО СОРТА АБРИКОСА ЧЁРНЫЙ ПРИНЦ

Варушкина С.М., Дейнека В.И., Саласина Я.Ю., Скрыпников Н.С.  
ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ», Белгород, varushkina@bsu.edu.ru

Абрикос (*Prunus armeniaca* L.) – популярная плодовая культура с высокими вкусовыми качествами плодов и высокой питательностью. Уровень мирового производства плодов абрикоса составил около 2.6 миллионов тон в 2005 г. Плоды в зависимости от сорта могут иметь окраску от белой до оранжевой, а в некоторых случаях с сильным красным румянцем. Оранжевая окраска плодов обусловлена в основном биосинтезом  $\beta$ -каротина, а красная окраска обеспечивается антоцианами, среди которых (по литературным данным) основные – цианидин-3-глюкозид и цианидин-3-рутинозид.

Известно, что в плодах абрикоса накапливается большое количество антиоксидантов, среди водорастворимых из которых основные – фенольные кислоты в изменяющемся в зависимости от сорта соотношении между феруловой, хлорогеновой и другими кислотами, а также аскорбиновая кислота. Антиоксидантные свойства обеспечивают плодам особую ценность для человека, помогая бороться с избытком эндогенных радикалов при окислительном стрессе в современном обществе. В этом отношении получение новых сортов абрикосов с усиленным за счет скрещивания биосинтезом антиоксидантов будет способствовать превращению плодов абрикоса в функциональные продукты питания. В этом направлении важна оценка свойств плодов абрикоса с усиленным биосинтезом антоцианов, – также мощнейших водорастворимых антиоксидантов. В результате спонтанного скрещивания абрикоса с алычей (*Prunus cerasifera* Ehrh.), а по некоторым данным – и со сливой относительно недавно был получен гибрид, получивший название «Черный принц»; важно, что он более устойчив к морозам и болезням, по сравнению с другими сортами абрикоса. Название обусловлено окраской плодов, но истинно чёрных абрикосов до сих пор не существует, а кожица плодов окрашена в различные оттенки тёмно-красного или насыщенно-фиолетового. От алычи гибрид позаимствовал косточку, плохо отделяющуюся от мякоти, тогда как абрикос поделился с ним замечательным ароматом.

Нами исследован видовой состав и уровень накопления антоцианов в плодах абрикоса «Черный принц», выращенного в Белгороде в 2021 году с использованием ВЭЖХ, см. рисунок 1.

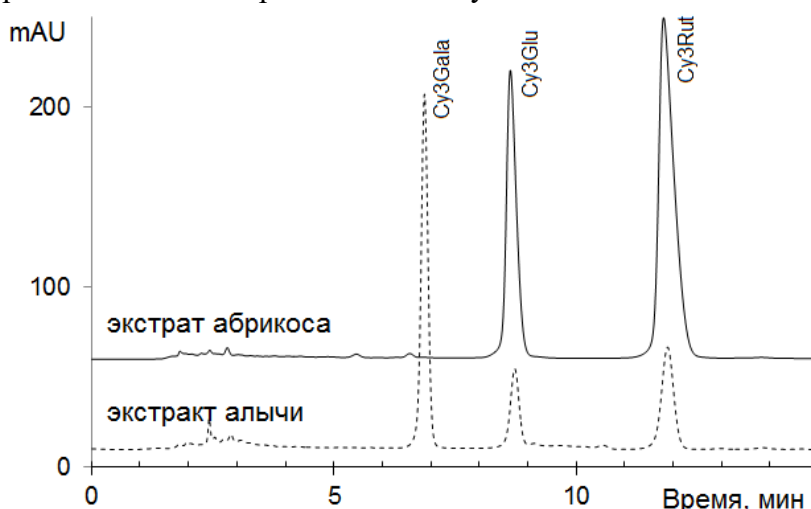


Рисунок 1. Хроматограммы экстрактов плодов абрикоса и алычи

Было установлено, что уровень накопления антоцианов в пересчете на свежий вес составляет порядка 50 мг на 100 г, но при этом значительная часть антоцианов накапливается в кожуре плода. По антоциановому составу признаки алычи (по отсутствию цианидин-3-галактозида, Cy3Gala) не наследуются, так как в экстракте обнаруживаются цианидин-3-глюкозид, Cy3Glu, цианидин-3-рутинозид, Cy3Rut.

## МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ ОСИНЫ ПУТЕМ СУПЕРЭКСПРЕССИИ ГРИБНОГО ГЕНА ЛАККАЗЫ И ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЛОНОВ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Видягина Е.О.<sup>1</sup>, Ковалицкая Ю.А.<sup>2</sup>, Кочетов А.П.<sup>1,3</sup>, Сурин А.К.<sup>1</sup>, Шестибратов К.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Филиал Института биоорганической химии им. ак. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пущино, vidjagina@mail.ru

<sup>2</sup>Институт биофизики клетки РАН - обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ Пущинский научный центр биологических исследований РАН, Пущино

<sup>3</sup>ФГБОУВО Пущинский государственный естественно-научный институт, Пущино

Лигнинолитические ферменты, продуцируемые грибами, являются эффективными разрушителями стойких ароматических соединений, в том числе и загрязнителей окружающей среды. Лакказы представляет собой фермент, который окисляет полифенолы до хинонов. Данная особенность позволила использовать травянистые трансгенные растения с суперэкспрессией этих ферментов для фиторемедиации почвы. Однако площадь контакта корневой системы травянистых растений небольшая, что даёт основание полагать, что использование в фиторемедиации древесных растений с более развитой корневой системой и с увеличенной экспрессией лакказы позволило бы значительно повысить степень разложения фенольных соединений. В этой связи целью настоящей работы стало изучение влияния трансформации осины геном лакказы *lac* из гриба *Trametes hirsuta* на растения и анализ возможности использования перспективных клонов для разложения фенольных соединений.

Используя агробактериальный перенос, были получены 5 трансгенных линий осины (47Lac4, 47Lac5, 47Lac7, 47Lac8, 47Lac23) с конститутивной экспрессией рекомбинантной лакказы *lac* из гриба *Trametes hirsuta*. Зимোগрамма показала, что наибольшая активность рекомбинантного белка была отмечена в линиях 47Lac4 и 47Lac23, при этом активность в линии 47Lac4 была в разы выше. Эти данные согласуются с данными RT-qPCR анализа, который показал, что уровень экспрессии рекомбинантного гена *lac* в линии 47Lac4 был самым высоким (уровень относительной экспрессии взят за единицу). Наиболее близким к максимальным значениям уровень экспрессии рекомбинантного гена отмечен для линии 47Lac23–0,346, минимальная экспрессия отмечена для линии 47Lac7–0,013. В связи с тем, что лакказы являются лигнинолитическими ферментами, был определён уровень экспрессии генов биосинтеза лигнинов (CAD6, CCoAOMT1, CCR1, Pxp3-4, 4CL, MYB152). Для всех трансгенных линий наблюдались изменения экспрессии этих генов. Статистический анализ результатов экспрессии генов методом главной компоненты показал, что трансгенные линии 47Lac5 и 47Lac7 и 47Lac8 наиболее близки по уровню экспрессии и образовывали одну группу. Контрольные растения 47-1 образовывали другую группу. Наибольшие отличия от всех линий также были характерны для линий 47Lac4 и 47Lac23.

В связи с тем, что генетическая конструкция для трансформации подразумевала экспрессию рекомбинантного фермента в апопласт, мы предположили, что полученные трансгенные растения можно использовать в фиторемедиации для разложения фенольных соединений. Для подтверждения нашей гипотезы, была проведена инкубация укоренённых двухнедельных растений на жидкой среде, содержащей 10mkM 2,4,6-трихлорфенола в течение 10 дней. Достоверное снижение содержания фенольных соединений отмечено для двух линий – 47Lac4 и 47Lac23, для которых также отмечена максимальная активность фермента. Для линии 47Lac4 отмечено снижение содержания 2,4,6-трихлорфенола до 40% и до 20% для растений линии 47Lac23. Таким образом, в качестве перспективных для фиторемедиации выделены линии 47Lac4 и 47Lac23, для которых необходимо провести дальнейшие испытания.



---

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛИСИТОРОВ И АНТИСТРЕССАНТОВ НА СИНТЕЗ СТИЛЬБЕНОВ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ ВИНОГРАДА

Вялков В.В., Луцкий Е.О., Сундырева М.А.

ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия, Краснодар, taurim2012@yandex.ru

В ответ на стрессовые воздействия в клетках растений винограда запускается синтез стильбенов – полифенолов, имеющих широкое фармакологическое применение. С другой стороны, интенсивное стрессовое воздействие способно привести к гибели клеток от внешних факторов, избыточного вторичного окислительного стресса. Поэтому современные исследования биосинтеза стильбенов для лекарственных целей сталкиваются с проблемой гибели клеток-производителей в результате чрезмерной стимуляции биосинтеза данных соединений. Исходя из этого, целью данного исследования являлось определение способа воздействия на каллусную культуру винограда, приводящего к наибольшей продукции стильбенов при наименьшем ущербе для ростовой активности. Объектом данного исследования являлся каллус винограда сорта Красностоп Золотовский. Каллусная культура выращивалась на питательной среде по патенту Реброва А. Н. В качестве стимуляторов биосинтеза стильбенов выступали элиситоры: метилжасмонат, салициловая кислота, антистрессанты: аскорбат натрия и пролин, а также один из метаболитических предшественников стильбенов - кумаровая кислота. Исследовали как одиночное воздействие приведённых веществ, так и действие сочетаний элиситор-антистрессант. В качестве контроля выступала каллусная культура, выращенная на среде без модификаций. В каллусной культуре измеряли: ростовую активность, общее содержание фенольных соединений, содержание флавоноидов и трёх основных групп стильбенов (ресвератрол, виниферин, пицеид).

По результатам исследования, наибольшую ростовую активность относительно контроля продемонстрировала каллусная культура, выращенная на среде с добавлением пролина (прирост в 17,5 раз по сравнению с 10-кратным приростом контроля). Наименьший же прирост продемонстрировал вариант с добавлением метилжасмоната и аскорбата натрия (2-кратный прирост). Общее содержание фенольных соединений было наибольшим в варианте, содержащем сочетание метилжасмоната и аскорбата натрия (0,67 мкг/мкл). Наибольшее содержание флавоноидов также оказалось в культуре, выращенной с добавлением метилжасмоната в культуральную среду (22,12 мкг/мкл). Так же этот вариант оказался лидирующим и в общем содержании стильбенов (1,2 мг/г сырой массы), при этом прирост отдельных групп стильбенов в разных вариантах существенно отличался. Высокое общее содержание стильбенов в указанном выше варианте вызвано интенсивным образованием виниферина - 0,9 мг/г сырой массы, тогда как по содержанию пицеида и ресвератрола лидирует каллусная культура, выращенная с добавлением в культуральную среду пролина (0,3 мг/г и 0,2 мг/г сырой массы соответственно). Таким образом установлено, что пролин является наиболее эффективным стимулятором биосинтеза стильбенов, так как он не наносит вреда ростовой активности, при этом приводя к активации синтеза биологически ценных для человека стильбенов, прежде всего ресвератрола. С другой стороны, полученные данные не согласуются с результатами воздействия пролина на целые растения винограда, поэтому механизм поступления пролина в клетки каллусной культуры и клетки целого растения требует дополнительных исследований.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-44-233006 п\_мол\_а.*



---

## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНЫХ СОРТОВ КАПУСТЫ КЕЙЛ (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *ACEPHALA*)

**Галиев И.В., Алмуграби Е., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, defotan@gmail.com

Растительные продукты с выявленными противораковыми и кардиозащитными свойствами включают разновидности *Brassica oleracea*, которые проявляют генотоксические свойства и обладают высокой антиоксидантной и антимикробной активностью. В последние годы возобновился интерес к использованию листовой капусты кейл в качестве профилактического продукта питания из-за относительно высокого содержания биоактивных фитохимических веществ, таких как глюкозинолаты, фенольные соединения, антоцианы, аминокислоты, витамины и минералы. Фенольные соединения в большинстве своем проявляют антиоксидантную активность и способствуют профилактике многих хронических заболеваний. Исследования последних лет показали, что производные некоторых фенольных соединений зачастую проявляют большую эффективность, чем специфичные лекарственные препараты.

В связи с этим, мы, как и многие ученые мира работают над модифицированием выращивания капусты, чтобы увеличить количество синтезируемых растением полезных для человека веществ, сделать растение более эффективным.

Целью данной работы является изучение фенольного состава разных сортов капусты кейл хроматографическим методом.

Для экстракции фенольных соединений использовались ростки разных сортов капусты кейл («*Nero Di Toscana*», «*Dwarf Green Curled*» и «Кай и Герда»), выращенные в теплице в течение 18 недель. Первостепенной задачей стоял подбор методов экстракции и наиболее эффективной оказалась спиртовая экстракция при 70° С с 3 экстракциями по 15 мин, при которой наблюдалось наиболее эффективное экстрагирование необходимых нам веществ.

Хроматографический анализ проводился на высокоэффективном жидкостном хроматографе с использованием ацетонитрила и воды в качестве подвижной фазы. Для идентификации фенольных соединений использовались соответствующие стандарты с определенной концентрацией. Результаты выдавались на компьютере в качестве пиков, по которым можно определить не только наличие разных метаболитов, но и их количество.

Проведенный эксперимент продемонстрировал значительно большее количество фенольных кислот, прежде всего таких, как галловая, синнаповая и коричная кислоты у сорта «*Nero Di Toscana*». По сравнению с «*Dwarf Green Curled*» и «Кай и Герда» общее содержание перечисленных кислот было больше в 1.44 и 1.25 раз соответственно. У растений сорта «Кай и Герда» было обнаружено большее количество кофейной кислоты. «*Dwarf Green Curled*» показала относительно средние результаты.

Исходя из результатов, именно сорт «*Nero Di Toscana*» будет использован для дальнейшей модификации и изучения не только фенольного, но и состава других вторичных метаболитов, таких как флавоноиды, глюкозинолаты и антоцианы.

---

## DETERMINATION OF PHENOLIC COMPONENT AMOUNT AND ANTIOXIDANT POTENTIAL OF *ONOPORDUM BRACTEATUM* LEAF EXTRACTS

Aytaj Gasimova, Mehlika Alper, Birsen Atlı

<sup>1</sup>Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Muğla Sıtkı Kocman University, Muğla, Turkey

Medicinal aromatic plants have recently become very important because many drugs used in modern medicine today are obtained from plants. Turkey is home to many more medicinal aromatic plants compared to other European countries due to the fact that it is located at the intersection of three phytogeographic regions consisting of Iran-Turan, European Siberia, Mediterranean regions. These plants, which have been growing in the natural flora, since old times have been used for various purposes such as cures of different diseases, food, tea, spices, dyes, etc. Medicinal aromatic plants used for therapeutic purposes perform these functions thanks to secondary metabolites. Secondary metabolites with many biological activities act as antioxidants and free radical scavengers. Antioxidants are the most important defense mechanism to eliminate oxidative stress caused by free radicals that occur as a byproduct of reactions in the human body. Antioxidants and free radicals are mostly in a state of equilibrium. But in some cases, this balance may be disturbed, and in this case, the predisposition to diseases caused by oxidative stress is significantly increased. One of the important secondary metabolites is phenolic compounds, which are found naturally in plants and have antioxidant properties. Phenolic compounds are the most important group of water-soluble antioxidants. Due to the antioxidant effects they show, they have protective and therapeutic effects against cancer, cardiovascular diseases, diabetes and neurodegenerative diseases. In recent years, with the advancement of technology, research on antioxidant activity and total phenolic compound determination for the production of drugs from plants have gained momentum. The present study is aimed to determine the antioxidant activity and phenolic content amount of the methanol and acetone extracts obtained from the leaves of *Onopordum bracteatum* collected from Mugla province in Turkey. 2,2-Diphenyl-1 picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2'-azino-bis-(3-ethyl benzothiazoline 6-sulfonic acid (ABTS) methods were used to determine the antioxidant activity. At the same time, the total phenolic content of plant extracts was determined. According to the DPPH and ABTS experiments, it was found that the antioxidant activity of leaf methanol extract was higher than that of leaf acetone extract. For these experiments, the IC<sub>50</sub> values of leaf methanol extract were determined as  $0.2558 \pm 0.0157$  mg/mL and  $0.1903 \pm 0.0029$  mg/mL, respectively. The phenolic compounds of methanol and acetone extracts of leaf were determined as  $2.7587 \pm 0.1203$  mgGAE/g and  $5.7808 \pm 0.2432$  mgGAE/g, respectively. The data obtained from this study will contribute to the studies on the use of the plant for pharmaceutical purposes.

---

## ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ РЕСВЕРАТРОЛА ОТ ТЕПЛОВОГО СТРЕСС-ФАКТОРА

**Герасимов Н.Ю., Неврова О.В., Жигачева И.В., Генерозова И.П.\*, Голощапов А.Н.**

Институт Биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,

\*Институт Физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, n.yu.gerasimov@gmail.com

Воздействие повышенных температур является одним из распространенных абиотических стресс-факторов для растений. Температурный фактор может приводить к морфофункциональным изменениям в развитии растений, при этом изменяется структура мембранных белков, что часто приводит к изменению структуры липидного бислоя. В результате могут изменяться структурные характеристики мембран, одной из которых является микровязкость.

В качестве защиты от биотических, таких как паразитическое действие бактерий и грибов, и от абиотических, таких как окислительный стресс, факторов в некоторых растениях синтезируется природный антиоксидант ресвератрол. Растительные полифенольные соединения, могут оказывать непосредственное влияние на структуру и функцию митохондрий. Поскольку результатом действия температуры является интенсификация процессов окисления в клетке, наличие антиоксидантов в системе регуляции клеточного гомеостаза позволяет растению выстраивать защитный барьер в ответ на действие теплового стресса. Поэтому за счет регуляции пероксидного окисления липидов антиоксиданты могут изменять и микровязкость мембран клетки.

В этой связи, было интересным исследовать влияние ресвератрола на структурные характеристики мембран митохондрий, подвергнутых тепловому стрессу. В рамках данной работы изучено действие растительного полифенольного антиоксиданта ресвератрола на структуру мембран митохондрий, выделенных из листьев проростков гороха *Pisum sativum L.*, подвергнутых воздействию теплового стресс-фактора. Тепловой стресс приводил к уменьшению кристалличности мембран митохондрий исследуемого растения. Показано, что сверхмалые дозы ресвератрола возвращают структуру липидного бислоя митохондрий после воздействия теплового стресс-фактора до состояния, свойственного для нативных растений.

Работу проводили на митохондриях пятидневных этиолированных проростков гороха *Pisum sativum L.*, сорт Флора 2. Проростки на 2 часа помещали в термостат при температуре 47°C. Митохондрии выделяли из листьев проростков гороха стандартным методом дифференциального центрифугирования в калий-фосфатном буфере. Ресвератрол готовили последовательным разбавлением в среде выделения так, чтобы концентрации в образцах с митохондриями при конечном разбавлении составляли  $5 \cdot 10^{-6}$  М и  $5 \cdot 10^{-14}$  М. Микровязкость липидного бислоя мембран определяли методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) спиновых зондов. В качестве зонда использовали стабильные нитроксильные радикалы 2,2,6,6-тетраметил-4-каприлоилоксилпиперидин-1-оксил (зонд I) и 5,6-бензо-2,2,6,6-тетраметил-1,2,3,4-тетрагидро-γ-карболин-3-оксил (зонд II).

---

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИГМЕНТОВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В КОЛОСЕ ЯЧМЕНЯ

Глаголева А.Ю., Вихорев А.В., Шмаков Н.А., Морозов С.В., Черняк Е.И.,  
Хлесткина Е.К., Шоева О.Ю.

ФГБНУ ФИЦ Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, Новосибирск,  
glagoleva@bionet.nsc.ru

Окраска колоса ячменя (*Hordeum vulgare* L.) зависит как от типа накапливаемых пигментов, так и от локализации пигментов в различных слоях оболочек зерна. Помимо зеленого пигмента хлорофилла, в колосе ячменя могут накапливаться пигменты фенольной природы: антоцианы и меланины. Антоцианы относятся к группе флавоноидных соединений и, накапливаясь в алейроновом слое и перикарпе зерна, придают ему голубую и фиолетовую окраску, соответственно. Меланины образуются в результате ферментативного окисления и полимеризации фенольных соединений, и накапливаются в перикарпе и цветковых чешуях, окрашивая зерно в черный или коричневый цвет. Антоцианы и меланины могут присутствовать в оболочках зерна ячменя как самостоятельно, так и совместно, однако особенности совместного накопления этих двух групп пигментов ранее не изучались.

В данной работе, для исследования особенностей взаимодействия пигментов фенольной природы в колосе ячменя была создана линия, несущая одновременно гены *Ant1* и *Ant2*, которые регулируют накопление антоцианов в зерне, и ген *Blp1*, ответственный за синтез меланина. Полученная линия, названная ВР (Black and Purple), совместно с родительскими линиями РLP (Purple Lemma Pericarp, накапливает только антоцианы), ВLP (Black Lemma Pericarp, накапливает только меланин), а также исходным непигментированным сортом Bowman была использована для сравнительного анализа содержания фенольных соединений и транскриптомного анализа. В ходе наблюдения за появлением и развитием окраски зерна в процессе его созревания было установлено, что появление антоциановой пигментации происходит на более ранней стадии спелости зерна, чем появление меланина. Поэтому для проведения сравнительного транскриптомного анализа была выделена РНК на трех разных стадиях развития колоса: в развивающемся колосе до появления пигментации, на стадии молочно-восковой спелости, когда происходит развитие антоциановой окраски и на стадии восковой спелости зерна, когда начинают накапливаться пигменты меланины. Было показано, что в развивающемся колосе происходит активация экспрессии генов общего метаболизма во всех линиях, вне зависимости от их типа пигментации, однако, по мере созревания колоса, происходит активация генов специфического или вторичного метаболизма, связанных, в том числе, с развитием пигментации зерновки. Было установлено, что активация генов биосинтеза антоцианов в линии ВР происходит на более ранней стадии созревания зерна, чем в родительской линии РLP. Было показано, что содержание антоцианов в гибридной линии ВР значительно превышает их количество в линии РLP, однако общее содержание флавоноидов в линии ВР было практически вдвое меньше, чем в родительской линии. В линии ВLP гены, вовлеченные в синтез антоцианов, не были транскрипционно активными, однако, была выявлена специфическая активация генов пути биосинтеза фенилпропаноидов, включая гены биосинтеза лигнина, а также полифенолоксидаз. Таким образом, можно предположить, что ген *Blp1* связан не только с образованием меланина, но и оказывает влияние на интенсивность накопления антоцианов в колосе ячменя.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №21-76-10024.*

---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ *TANACETUM VULGARE L.*

Головин А.В., Скрыпник Л.Н.

ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта», Калининград, anton.golovin00@mail.ru

Растения пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare L.*) нашли широкое применение как в традиционной, так и в современной медицине. Экстракты на основе травы пижмы используют как противоглистное, антигипертензивное, мочегонное, противодиабетическое и противовоспалительное средство. В основном проявляемая биологическая активность экстракта обусловлена содержанием в них соединений фенольной структуры, среди которых необходимо выделить фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды.

Целью работы стало исследование содержания различных классов фенольных соединений (суммы фенольных соединений, флавоноидов, катехинов, лейкоантоцианов, танинов, гидроксикоричных кислот) в разных органах растений (корнях - К, стеблях - С, листьях - Л, соцветиях - Ц). Объектом исследования выступали усредненные пробы растений *T. vulgare L.*, относящихся к различным территориям произрастания в пределах Калининградской области. Пробы собраны в период с августа по сентябрь 2021 года. Фенольные соединения экстрагировали 70 % водным этанолом при нагревании на водяной бане.

Для пробы №1 выявлено, что распределение практически всех изучаемых классов фенольных соединений можно отобразить последовательностью Л>Ц>К>С за исключением катехинов и лейкоантоцианов, содержание которых в стеблях было выше, чем в корнях. Кроме того стоит отметить, что уровень фенольных соединений в листьях был в 1,03–2,86 раза выше по сравнению с соцветиями.

В пробе №2 наблюдалось иное распределение для большинства определяемых фенольных соединений: Ц>Л>К>С. При этом в корнях наблюдалось наименьшее содержание катехинов, лейкоантоцианов и танинов. Содержание фенольных соединений в соцветиях было больше, чем в листьях в 1,02–1,41 раз.

В растениях с пробной площадки №3 четкого распределения фенольных соединений различных классов обнаружено не было. Содержание флавоноидов и гидроксикоричных кислот уменьшалось в ряду К>Ц>Л>С, катехинов и лейкоантоцианов – Л>Ц>С≈К, танинов – Ц>К>Л>С.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что *Tanacetum vulgare L.* является растительным сырьем, богатым фенольными соединениями, обуславливающими биологическую активность применяемых в медицине экстрактов. Кроме того, стоит отметить, что основная доля фенольных соединений приходилась на листья и соцветия растения (от 40 до 85 % в зависимости от образца и изучаемого класса). Этот факт позволяет говорить о вероятной возможности использования в медицине не только соцветий, но и листьев *T. vulgare L.* или их комбинаций. Однако необходимо проведение дополнительных исследований, направленных на изучение распределения фенольных соединений в пижме обыкновенной в зависимости от условий произрастания.

---

## ЭЛИСАТАЦИЯ КЛЕТОК ЛЬНА В УСЛОВИЯХ *IN VIVO* И *IN VITRO*

Гончарук Е.А., Загоскина Н.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, goncharuk.ewgenia@yandex.ru

Элиситация является привлекательной стратегией для увеличения содержания вторичных метаболитов в растениях, а элиситоры различной природы способны стимулировать их ответные стрессовые и адаптивные реакции, приводя к накоплению в них эндогенных вторичных метаболитов или же к образованию новых их форм. При этом эффективность элиситации во многом зависит от типа элиситора, его концентрации, длительности воздействия и способа применения. Биотические элиситоры экологически и биологически безопасны, имеют природное происхождение и обладают рядом преимуществ перед другими категориями элиситоров, поскольку применяются, как правило, для оптимизации фитохимического состава растений, что является важным как с точки зрения формирования защитных реакций и большей устойчивости растительного организма, так и при производстве фармацевтических препаратов.

Биотехнологические подходы, позволяя моделировать условия выращивания *in vitro*, помогают исследовать ответные реакции клеток растений на действие различных факторов, индуцировать биосинтетические процессы и синтез вторичных метаболитов, обеспечивая при этом сохранение фиторазнообразия *ex vitro*.

Род *Linum* насчитывает около 230 видов, распространенных по всему миру, привлекающих большой интерес исследователей в связи с быстрым онтогенезом растений и большим разнообразием возможностей их использования как коммерчески важной масличной, лубяной, декоративной и лекарственной культуры. *Linum grandiflorum* относится и к декоративным, и к лекарственным растениям, экстракты которого обладают широким спектром противовирусной и антибактериальной активности. К ценным биологически активным соединениям, продуцентом которых является *L. grandiflorum*, относятся вторичные метаболиты, представленные различными классами фенольных соединений, в том числе лигнанами. К ним относятся подофиллотоксин и его производные (деоксиподофиллотоксин и метоксиподофиллотоксин), обладающие высокой антиканцерогенной, цитотоксической и противовирусной активностью, получение которых из других культур сопряжено с трудностями.

Наряду с применением абиотических элиситоров (кадмий и глифосат), для каллусных культур и проростков льна крупноцветкового использовали биотический элиситор (дрожжевой экстракт), действие которого было более результативным в отношении повышения их биосинтетической способности в условиях *in vitro* и *in vivo*. Этот процесс проявлялся на уровне накопления характерных для льна биогенетически ранних соединений фенольной природы – фенилпропаноидов, увеличение содержания которых при действии кадмия и глифосата происходило только в первой половине цикла роста каллуса, тогда как применение биотического элиситора способствовало более эффективной стимуляции биосинтеза этих вторичных метаболитов в течение всего пассажа. Аналогичная тенденция отмечалась и для проростков льна крупноцветкового. Установлено также, что воздействие биотического элиситора на каллусные культуры льна крупноцветкового сопровождалось образованием в них фармакологически ценного производного фенилпропаноидного пути – 6-метоксиподофиллотоксина, соединения класса лигнанов, характерных для интактного растения. Все это свидетельствует о возможности направленной регуляции определенных классов фенольных соединений при элиситации клеток и тканей растений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).*



---

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭЛИСИТОРНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТИЛЖАСМОНАТА И САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНИЛПРОПАНОИДОВ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ ЭХИНАЦЕИ БЛЕДНОЙ

Дитченко Т.И., Бокий К.Ю.

Белорусский государственный университет, Минск, ditchenko@bsu.by

Эффективной стратегией для увеличения продукции ценных вторичных метаболитов культурами клеток, тканей и органов лекарственных растений является применение элиситоров. Биотические и абиотические элиситоры играют роль сигналов, запускающих в обработанных клетках каскад реакций, приводящих к повышению экспрессии генов, контролирующих биосинтез фитоалексинов. Метилжасмонат (МеЖ) и салициловая кислота (СК) относятся к числу наиболее широко используемых агентов, индуцирующих рост уровней накопления разных классов вторичных метаболитов, в т.ч. фенольных соединений. При этом величина стимулирующего эффекта зависит от параметров и условий обработки культур-продуцентов. Целью настоящей работы явилась сравнительная оценка эффектов экзогенных МеЖ и СК на образование вторичных метаболитов фенольной природы в культуре клеток эхинацеи бледной.

Объектом исследования служила суспензионная культура *Echinacea pallida* (nut.) Nutt, которую в течение 13 суток культивировали на питательной среде МС, включающей 3% сахарозы и фитогормоны (0,2 мг/л 2,4-Д, 0,5 мг/л кинетин, 1,0 мг/л ИУК), затем обрабатывали МеЖ либо СК в концентрациях  $10^{-6}$ – $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Продолжительность инкубации в присутствии разных концентраций элиситоров составляла 2 суток. Контролем служила суспензионная культура, которая в течение 15 суток выращивалась на питательной среде МС, включающей 3% сахарозы и фитогормоны. Уровни накопления фенолпропаноидов, в частности, гидроксикоричных кислот (ГКК) и их производных, определяли в пересчете на цикориевую кислоту. Активность L-фенилаланинаммоний-лиазы (ФАЛ) оценивали спектрофотометрически по количеству транс-коричной кислоты, образующейся в результате дезаминирования L-фенилаланина.

Достоверный рост уровней накопления ГКК в клетках суспензионной культуры эхинацеи бледной отмечался при действии самой низкой из испытанных концентраций МеЖ. В присутствии  $10^{-5}$  моль/л стимулирующий эффект не отличался по своей величине и составлял в среднем 35% по сравнению с контролем. Наиболее выраженная стимуляция выявлена в результате воздействия  $10^{-4}$  моль/л МеЖ, приводящего к двукратному росту содержания ГКК. Использование  $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л МеЖ сопровождалось ингибированием биосинтеза фенолпропаноидов. Все исследуемые концентрации СК индуцировали достоверный рост уровней накопления анализируемых вторичных метаболитов фенольной природы по сравнению с необработанными клетками. Величина стимулирующего эффекта практически не зависела от используемой концентрации и не превышала 35-40%. Таким образом, в низких концентрациях ( $10^{-6}$  и  $10^{-5}$  моль/л) СК и МеЖ проявляли примерно равную элиситорную активность. Однако при использовании концентраций  $5 \cdot 10^{-5}$  и  $10^{-4}$  моль/л МеЖ индуцировал гораздо более выраженные эффекты по сравнению с СК. Причиной установленных различий может выступать разная степень модифицирующего воздействия протестированных элиситоров на работу ФАЛ как ключевого фермента фенолпропаноидного метаболизма. Установлено, что в диапазоне концентраций  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  моль/л МеЖ в равной степени индуцировал практически 3-х кратное возрастание ее активности. Величина стимулирующего эффекта СК в аналогичных концентрациях не превышала 1,5-1,6 раза. Таким образом, для повышения продукции фенолпропаноидов суспензионной культурой эхинацеи бледной целесообразно проведение 2-х суточной обработки клеток  $10^{-4}$  моль/л МеЖ.

## СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ ЭКЗОГЕННОЙ 5-АМИНОЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТОЙ В КОЛЕОПТИЛЯХ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Дремук И.А., Савина С.М., Емельянова А.В., Прищепчик Ю.В., Аверина Н.Г.

ГНУ Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, irinadremuk@yandex.by

5-аминолевулиновая кислота (АЛК) – предшественник циклических и линейных тетрапирролов, экологически безопасный природный регулятор роста растений и антистрессор. В последние годы появились сведения о стимуляции накопления антоцианов под действием АЛК в кожуре яблок, груш, томатов, винограда и др. Ранее нами было показано, что экзогенная АЛК индуцировала накопление антоцианов в семядольных листьях озимого рапса, повышая при этом экспрессию структурного гена *DFR*, кодирующего 4-дегидрофлавонолредуктазу, и регуляторного гена *HY5* транскрипционного фактора *HY5*. Целью данного исследования явилось изучение влияния экзогенной АЛК на содержание антоцианов и экспрессию структурных генов пути биосинтеза антоцианов – *PAL*, кодирующего фенилаланин-аммоний-лиазу, и *CHS*, кодирующего халконсинтазу, а также экспрессию регуляторного гена *PAP-1*, кодирующего транскрипционный фактор *PAP1/ТаMYB75* в coleoptilyax проростков озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). В качестве объекта исследования были выбраны два сорта пшеницы, характеризующиеся красной («ЭтW5») и зеленой («Влади») окраской coleoptilyax. Семена замачивали в дистиллированной воде (контроль) или в растворе АЛК (50 мг/л) на 2 ч при  $25\pm 2^\circ\text{C}$ , затем высаживали в грунт и выращивали в лабораторных условиях при  $25\pm 2^\circ\text{C}$  до 8-дней.

Экстракцию антоцианов проводили в 1% HCl, далее измеряли оптическую плотность при 510 нм и рассчитывали их содержание в мкмоль/г сырой массы (в эквиваленте цианидин-3-глюкозида), используя коэффициент молярной экстинкции  $26,9 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ . Уровень экспрессии генов *PAL*, *CHS* и *PAP-1* оценивали методом ПЦР в реальном времени с использованием ген-специфичных праймеров для *PAL* – CGCCGAGGCTATTGACATCT (прямой) и GTTCCTCACCGCTGTCTTCA (обратный), для *CHS* – AAAGGCGATCAAGGAGTGGG (прямой) и GGCGAAGACCGAGCATCTTA (обратный), для *PAP-1* – ACAAGAAGCGCCCTGAAACT (прямой) и ACAGCGTTGGACCTGATGAA (обратный) и для гена-нормализатора *act* – TGGACGTCACCAAC (прямой) и AGGTCAAGACGAAGGATGGC (обратный).

Показано, что под действием экзогенной АЛК coleoptilyax пшеницы сорта «ЭтW5» приобретали более интенсивное окрашивание ткани, что сопровождалось повышением содержания в них антоцианов в 1,5 раза по сравнению с контролем, достигая 592 мкмоль/г сырой массы. Напротив, coleoptilyax растений сорта «Влади» своей окраски не меняли, и содержание в них антоцианов оставалось низким – в среднем 22 мкмоль/г сырой массы.

Установлено, что в coleoptilyax пшеницы сорта «ЭтW5» под действием АЛК в 1,4 раза возрастал уровень относительной нормализованной экспрессии гена *PAL* и в 17 раз уровень относительной нормализованной экспрессии гена *CHS* по сравнению с соответствующими контролями. В coleoptilyax растений сорта «Влади» достоверных изменений экспрессии генов *PAL* и *CHS* под действием АЛК зафиксировано не было. Уровень экспрессии *PAP-1* в coleoptilyax пшеницы сорта «ЭтW5» без обработки семян АЛК был в 20 раз выше, чем в coleoptilyax сорта «Влади». Под действием экзогенной АЛК наблюдалась лишь тенденция к увеличению экспрессии *PAP-1* в варианте «ЭтW5». В coleoptilyax растений сорта «Влади» экспрессию *PAP-1* детектировать не удалось. Таким образом, стимуляция экзогенной АЛК экспрессии структурных генов биосинтеза антоцианов в coleoptilyax пшеницы является сортоспецифичной и связана с начальным уровнем содержания антоцианов в данной ткани.

Исследования проводились при финансовой поддержке гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б20ГРМГ-001).

---

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ И ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ ОРХИДЕИ *EPIPACTIS ATRORUBENS* ИЗ НАРУШЕННЫХ МЕСТООБИТАНИЙ

Елькина А.В., Чукина Н.В., Малева М.Г., Филимонова Е.И., Борисова Г.Г.  
Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, elkina200@yandex.ru

Существенный рост антропогенной активности приводит к сокращению естественных местообитаний орхидных, в связи с этим некоторые виды активно колонизируют техногенно нарушенные территории, такие как промышленные отвалы, свалки, карьеры и т. п.

Объектом наших исследований был *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Bess (дремлик темно-красный). Это короткокорневищный травянистый многолетник, произрастает в сухих и светлых местообитаниях, кальцефил, ксеромезофит. В естественных фитоценозах встречается редко, при этом на Среднем Урале *E. atrorubens* активно колонизирует техногенные субстраты, успешно поселяясь на отвалах серпентинитовых пород, образованных при разработке месторождений асбеста.

Важная роль в адаптации растений к стрессовым условиям отводится фенольным соединениям – одним из наиболее распространенных вторичных метаболитов, участвующих в системе антиоксидантной защиты. Цель исследования – сравнительный анализ содержания фенольных соединений и флавоноидов в листьях растений *E. atrorubens* из естественного и трансформированных местообитаний.

Сбор растительного материала (листья) проводили в середине июля 2020–2021 гг в период цветения *E. atrorubens* из трех ценопопуляций на территории Анатольско-Шиловского месторождения асбеста (п. Новоасбест, Свердловская область) и фоновой ценопопуляции (естественный лесной фитоценоз в 2,5–6,0 км от отвалов). В листьях исследуемых растений спектрофотометрически определяли уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ), общее содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов.

Серпентинитовые субстраты отличаются высоким содержанием ряда металлов (Ni, Cr, Co, Mg) при этом содержание большинства макроэлементов (N, P, Ca, K) существенно снижено. Физико-химические свойства таких субстратов неблагоприятны для растений, что проявляется в так называемом «серпентинитовом синдроме». Кроме того, на данных субстратах наблюдается постоянный дефицит влаги, интенсивная инсоляция, отмечается существенный перепад температур на поверхности почвы.

Известно, что аккумуляция тяжелых металлов приводит к развитию окислительного стресса у растений. Об этом свидетельствует повышенный уровень ПОЛ в листьях *E. atrorubens* из нарушенных местообитаний (в среднем на 20% по сравнению с фоновым). Фенольные соединения играют важную роль в ликвидации активных форм кислорода за счет своих гидроксильных групп, поэтому под действием стрессовых факторов их содержание в растениях может увеличиваться, что способствует их адаптации к неблагоприятным условиям обитания. Результаты исследования показали, что у растений *E. atrorubens*, произрастающих в техногенно нарушенных местообитаниях, общее содержание растворимых фенольных соединений в листьях, включая флавоноиды, в среднем повышалось в 1,6 и 2,3 раза, соответственно, по сравнению с естественной ценопопуляцией. При этом доля флавоноидов возрастала с 39% (фон) до 55% (техногенные субстраты).

Таким образом, усиление синтеза фенольных соединений можно рассматривать как одну из адаптивных реакций *E. atrorubens*, способствующих натурализации редкого вида орхидеи в неблагоприятных условиях серпентинитовых отвалов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области (проект № 20-44-660011) и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания Уральского федерального университета (FEUZ-2020-0057).

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КАЛЛУСА И КОРНЕВИЩА СОЛОДКИ И ИХ АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ

Ермошин А.А., Галишев Б.А., Киселёва И.С.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
Alexander.Ermoshin@urfu.ru

Солодка голая – одно из наиболее известных лекарственных растений, действующим веществом которого являются сапонины и флавоноиды. В ряде регионов солодка занесена в региональные Красные книги, что делает ее сбор невозможным. Солодку можно культивировать, однако выращивание многолетних лекарственных растений требует отчуждения на длительное время сельскохозяйственных земель. В связи с этим перспективным становится культивирование клеток солодки *in vitro*.

Для получения каллусной культуры использовали листовые экспланты, так как экспланты из корневища оказались нежизнеспособны. Первичный каллус получали на среде МС с 3% сахарозы и 9 вариантами сочетания фитогормонов. Наибольшая скорость роста и выживаемость каллусов показана на паре гормонов 1 мг/л БАП и 10 мг/ НУК. В экстрактах из каллусов, полученных на данной среде, было определено содержание суммы фенолов, флавоноидов и антиоксидантная активность. Методом UHPLC-MS был проведен поиск индивидуальных соединений фенольной природы. Результаты сравнивали с экстрактом, полученным из корневища интактного растения исходного генотипа.

Суммарное содержание фенолов в каллусной культуре оставило  $1,7 \pm 0,2$  мг/г сухого веса; в экстракте корня –  $3,6 \pm 0,1$  мг/г. Содержание флавоноидов –  $1,0 \pm 0,1$  мг/г сухого веса в каллусах и  $8,3 \pm 0,6$  мг/г в корневище. Методом ВЭЖХ показано наличие пара-кумаровой кислоты как в каллусе, так и нативном корневище. В корневище, кроме того, присутствовал рутин, которого не было в каллусе. Феруловая кислота, наоборот, обнаружена только в каллусе, но не в корневище. Галловая, салициловая, сиреневая, ванилиновая кислоты, ресвератрол, катехин, кверцетин и флороглюцин отсутствовали как в каллусной культуре, так и в корневище.

Фенолы являются мощными антиоксидантами, с чем часто связаны их терапевтические эффекты. Показан высокий восстановительный потенциал экстракта из каллусной культуры (по реакции восстановления молибдата аммония) –  $166 \pm 9\%$  относительно чистого растворителя (этанол), а экстракт корневища был активнее на  $452 \pm 32\%$ . Для сравнения галловая кислота ( $0,5$  мг/мл) имела восстановительный потенциал  $248 \pm 11\%$ , а рутин в той же концентрации –  $113 \pm 9\%$ . Добавление экстракта из культуры клеток в раствор нитропрусида натрия снижало образование оксида азота на  $74 \pm 26\%$ , а добавление экстракта корневища – на  $131 \pm 44\%$ . Галлат ингибировал образование NO на  $36 \pm 12\%$ . Антиоксидантная активность определялась в тесте на ингибирование образования ABTS-радикала. Экстракты корневища и каллуса солодки показали равную высокую антирадикальную активность –  $92 \pm 0,1\%$ , что совпадало со стандартом галловой кислоты ( $93 \pm 0,1\%$ ) и было достоверно выше активности раствора рутина ( $71 \pm 2\%$ ).

Таким образом, в клетках каллусной культуры содержалось только 48% фенолов и 12% флавоноидов от их количества в корневище. Состав индивидуальных соединений. Также отличался. Однако быстрая скорость роста каллусной культуры может сделать её перспективной для синтеза фенольных соединений. Ее использование как источника антиоксидантов также перспективно, так как восстановительный потенциал экстракта культуры клеток солодки достоверно выше, чем для стандартного препарата, содержащего  $0,5$  мг/мл рутина. Способность ингибировать образование NO у обоих экстрактов достоверно выше, чем у стандартных антиоксидантов, а ингибирование образования ABTS-радикала в обоих культурах не отличается и совпадает со активностью стандарта.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00817, <https://rscf.ru/project/22-24-00817/>*

---

## МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ПРОФАЙЛИНГ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ: ВКЛАД ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА В ХИМИЧЕСКИЙ ФЕНОТИП

Ерофеева Н.О.<sup>1</sup>, Орлова А.А.<sup>1</sup>, Силинская С.А.<sup>1</sup>, Билова Т.Е.<sup>1</sup>, Куркиев К.У.<sup>2</sup>,  
Хлесткина Е.К.<sup>2</sup>, Фролов А.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Лейбниц-Институт биохимии растений, Галле/Заале, Германия

Приоритетной задачей для поддержания высокой урожайности и качества сельскохозяйственной продукции является внедрение в предселекционные работы и селекционные программы новых дополнительных методов исследования, включая широкий набор методов фенотипирования, в том числе так называемого хемотипирования. В рамках предселекционных работ важное значение имеют исследования коллекций культур, характеризующихся уникальным генетическим разнообразием. Метаболиты фенольной природы активно изучаются у основных возделываемых видов пшеницы, но остаются малоизученными у редких видов, которые служат ценным источником генетического разнообразия для основных культур, а также сами могут представлять интерес как потенциальный источник продовольственного сырья для диетического питания. Фенольные соединения обладают целым рядом важных биологических активностей (в первую очередь, антиоксидантной, противовоспалительной, антинейродегенеративной, нейрорегенеративной и геропротекторной). С целью изучения вклада фенольного метаболизма в химический фенотип у разных видов пшеницы было выполнено качественное и количественное сравнительное исследование паттернов метаболитов в семенах 30 образцов более 10 различных видов пшеницы (зерно урожая 2021 года, выращенного на Дагестанской опытной станции ВИР). Для анализа метаболитов различной химической (и в первую очередь - фенольной) природы был применен комплексный метаболомный подход, направленный на глубокий анализ вторичных метаболитов зерновок. Для этого материал семян последовательно экстрагировали в нескольких системах растворителей разной полярности, и полученные экстракты анализировали с помощью *жидкостной* обращённо-фазовой хромато-масс-спектрометрии (ОФ-ЖХ-МС). Обработка полученной информации (деконволюция спектров, экстракция пиков, выравнивание хроматограмм по времени удерживания аналитов, идентификация и интегрирование площадей пиков) и статистический анализ были выполнены с помощью программного обеспечения MSDial и он-лайн платформ Metaboanalyst и Metfamily.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России проекта «Хлеба России» по соглашению № 075-15-2021-1066 от 28.09.2021 г.*



---

## РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ В-ГЛЮКОЗИДАЗЫ РАСТЕНИЙ *PISUM SATIVUM* (L.) УСЛОВИЯМИ СРЕДЫ И МЕТАБОЛИТАМИ

Ершова А.Н.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж,  
profershova@mail.ru

$\beta$ -Глюкозидаза ( $\beta$ -D-глюкозид-глюкогидролаза, КФ 3.2.1.21), катализирует расщепление  $\beta$ -гликозидной связи между глюкозой и алкил- или арил-агликоном. Физиологические функции растительных  $\beta$ -глюкозидаз разнообразны, включая расщепление  $\beta$ -D-гликозидов, в форме которых встречаются спирты, фенолы, алкалоиды и сапонины. Исследовали  $\beta$ -глюкозидазу растений гороха, которая наряду с салицином и р-НФГ, расщепляла и специфический для растений гороха изосукцинимид- $\beta$ -D-гликозида (ИС-гликозид). Изучали активность, физико-химические свойства фермента растений, находящихся в условиях различной аэрации (3-24 час.), а так же регуляцию метаболитами (пероксид водорода). Высокоочищенные препараты фермента получали при высаливании сульфатом аммония и очистки методом гель-хроматографии на G-25 и G-100. Чистоту фермента контролировали электрофоретическим методом. Активность определяли спектрофотометрически, используя в качестве субстрата р-НФГ, салицин или ИС-гликозид. Удельную активность выражали в ФЕ на мг белка, Определение  $K_m$  и  $V_{max}$  проводили методом двойных обратных величин по Лайуниверу-Берку.

Фермент, выделенный из аэрируемых растений, был очищен в 80,7, при гипоксии в 72,8 и в  $CO_2$ -среде в 74,7 раза. Установлено, что в условиях гипоксии изменялась активность фермента по отношению субстратам. Она возрастала при использовании салицина и ИС-гликозида в 1,5-2.0 раза, но падала в отношении р-НФГ. К 24 часам экспозиции активность фермента резко снижалась при использовании всех субстратов, за исключением салицина что отразилось на кинетических характеристиках  $K_m$  и  $V_{max}$ . При всех сроках действия гипоксии на растения величина  $K_m$ , показывающей степень сродства фермента к субстрату, снижалась для салицина, а по отношению к ИС-гликозиду, р-НФГ,  $\alpha$ -метил-D-глюкопиранозиду – возрастала.  $CO_2$ -среда вызывала увеличение  $K_m$  для всех субстратов, за исключением р-НФГ. Обнаружено, что при дефиците кислорода у растений менялся рН оптимум  $\beta$ -глюкозидазы, который сдвигался с 5,6 при аэрации до 5,3 при гипоксии, но не изменялся в условиях  $CO_2$ -среды. Пероксид водорода, накапливающийся в условиях гипоксии в клетках растений, как наиболее стабильный продукт АФК, также влиял на активность  $\beta$ -глюкозидазы. В условиях  $CO_2$ -среды активность фермента в клетках уменьшалась на 20 % при концентрации пероксида водорода 0,1 мМ. При гипоксии падение активности фермента на 20% происходило при концентрации пероксида 1,5 мМ. В условиях же аэрации этот эффект достигался при концентрациях пероксида 0,2 мМ. Предполагается, что в условиях гипоксии в молекулах фермента группы, чувствительные к действию пероксида, уже подверглись карбонилированию за счет окислительного стресса, развивающегося в условиях дефицита кислорода за счет сбоев в работе ЭТЦ –дыхания и сброса электронов на другие субстраты.

Проведенный исследования позволяют предположить, что повышение активности у растений активности  $\beta$ -глюкозидазы при дефиците кислорода по отношению к природным гликозидам позволяет увеличивать поступление глюкозы, необходимой для дыхательного обмена проростков. Изменения величины  $K_m$  фермента для различных субстратов свидетельствует о том, что стрессовые условия вызывают конформационные изменения  $\beta$ -глюкозидазы, затрагивающие и активный центр фермента. При этом меняется рН-оптимум и чувствительность  $\beta$ -глюкозидазы к пероксиду водорода. Использование в качестве субстратов р-НФГ и салицина может давать противоположные результаты при исследовании активности  $\beta$ -глюкозидазы в стрессовых условиях, что необходимо учитывать.



## ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ ЛИСТЬЕВ НЕКОТОРЫХ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИКОВ И УРОВНЕМ ИХ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ

Захарова Н.К., Бреева А.А., Ручкина А.Г.

ФГБОУ ВО Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва

В работе представлены новые результаты изучения водно-этанольных экстрактов листьев голубики высокорослой, толокнянки, брусники, клюквы, черники, малины, смородины, земляники, ежевики. Экстракты получены из сухого растительного сырья выдержкой при температуре кипения экстрагента. Приведены также некоторые данные по экстрактом, полученным с помощью ультразвуковой ванны Сапфир (рабочая частота 35 кГц). Для всех полученных образцов определено суммарное содержание фенольных соединений с помощью реактива Фолина-Чокальтеу, содержание флавоноидов, а также антирадикальная активность с 2, 2-дифенил-1-пикрилгидразил радикалом (ДФПГ<sup>•</sup>). Степень радикального захвата Р (%) рассчитывали по измерению величины оптической плотности раствора ДФПГ<sup>•</sup> при 517 нм до и после введения 200-кратно разбавленных экстрактов.

Установлено соответствие уровней антирадикальной активности экстрактов листьев различных растений и содержания фенольных соединений или флавоноидов, поскольку и те, и другие способны к взаимодействию с активными формами кислорода.

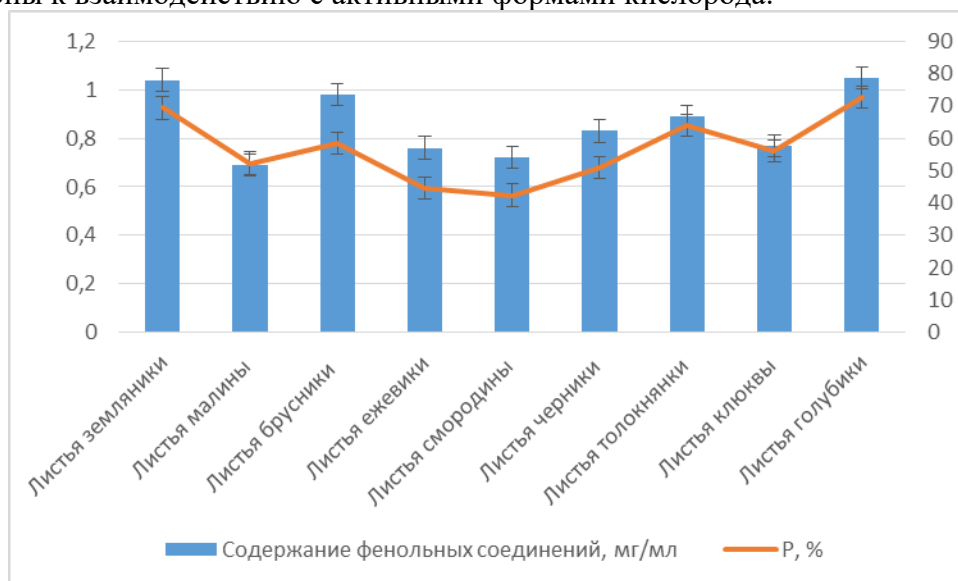


Рисунок. Соответствие суммарного содержания фенольных соединений и уровня антирадикальной активности водно-этанольных экстрактов, полученных в кипящем экстрагенте.

Похожая зависимость наблюдается также в ряду экстрактов листьев голубики разных сортов. Так наивысшую антиоксидантную активность, содержание фенольных соединений и флавоноидов показывают экстракты сорта Нортленд (77,7% ;1,16 мг/мл и 0,83 мг/мл соответственно), а наименьшую – Блюкроп (64,0%; 0,76 мг/мл и 0,55 мг/мл соответственно).

Использование для интенсификации экстракции ультразвуковой ванны приводит к непропорциональным значениям полученных результатов, причем следует отметить существенное снижение антирадикальной активности (до 40%) при тех же уровнях содержания фенольных соединений и флавоноидов. Негативное влияние ультразвука с частотой более 20 кГц на структуру биологически активных веществ фенольного типа неоднократно отмечалось и ранее.

---

## ФЛАВОНОЛЫ В СИГНАЛИНГЕ ПЫЛЬЦЕВЫХ ТРУБОК

**Захарова Е.В., Минкина Ю.В., Ковалева Л.В.**  
ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, zakharova\_ekater@mail.ru

Формирование пыльцевой трубки (ПТ) происходит при прорастании пыльцевого зерна, оказавшегося в оптимальных условиях. После прорастания ПТ растёт в направлении зародышевого мешка, обеспечивая доставку спермиев. В связи с лёгкостью культивации на искусственных средах ПТ служит модельной системой для изучения закономерностей полярного клеточного роста.

Различные сигнальные пути координируют рост ПТ. Активно исследуются ключевые регуляторы сигнальной сети, контролирующие везикулярный транспорт, динамику цитоскелета и клеточной стенки (ROP GTPases, Ca<sup>2+</sup>, ROS, фосфоинозитиды), а также малые сигнальные пептиды и фитогормоны.

Представлению о флавоноидах как о возможных факторах репродуктивного развития способствовали многочисленные данные о наличии их в цветках растений. Флавонолы (ФЛ) являются необходимыми компонентами прорастания и роста ПТ (Mo et al., 1992; Ylstra et al. 1992, 1994; Pollak et al., 1995). ФЛ синтезируются в тапетальных клетках стенки пыльника и присутствуют в пыльце покрытосеменных и голосеменных растений (2-5% от сырого веса).

Stanley and Linskens (1974) предположили, что ФЛ, совместно с белками, диффундируют из пыльцы в первые минуты её прорастания, стимулируя сдвиги в метаболизме рыльца и всего гинецея.

Ковалева и др. (2007) установили, что (1) процесс развития мужского гаметофита (МГ) петунии (*Petunia hybrida* L.) сопровождается образованием и накоплением ФЛ в тканях пыльника; (2) прорастание МГ, как *in vitro*, так и *in vivo*, сопровождается синтезом ФЛ в клетках МГ и спорофитных тканях рыльца; (3) зрелый МГ, по сравнению со спорофитными тканями пестика, характеризуется высоким уровнем ФЛ; (4) самый высокий уровень ФЛ в тканях пестика - в рыльце; (5) экзогенные ФЛ влияли на прорастание и рост ПТ (максимальный стимуляторный эффект – в концентрации 10<sup>-12</sup>М).

Сравнительный анализ динамики содержания ИУК и ФЛ в системе пыльца-пестик показал, что ФЛ могут быть регуляторами транспорта ИУК в прогамной фазе оплодотворения (Ковалева и др. 2007). ИУК стимулирует прорастание и полярный рост ПТ, повышая содержание полимерного актина в апикальной и субапикальной зонах и влияя на транспорт ионов через плазмалемму (Воронков и др. 2010).

Chen et al. (2021) показали, что у *Malus* ФЛ регулируют рост ПТ, влияя на транспорт ауксина и сигнальные пути Rho of plants (ROP) GTPases, Ca<sup>2+</sup>, фосфоинозитидов и HSPs (Heat Shock Proteins).

У томатов ФЛ регулируют уровень АФК в пыльце и ПТ, защищая их от повышения АФК при тепловом стрессе (Muhlemann et al. 2018). Авторы полагают, что ФЛ могут обеспечить защиту растений от негативных последствий изменения климата, а синтез ФЛ в пыльце и ПТ – мишень для метаболической инженерии для сохранения урожайности с/х культур в условиях изменения климата.

## СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ ВИДОВ *SERRATULA*, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Зибарева Л.Н., Казанцева Д.И., Коннова С.И.

ФГАОУВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
zibareva.lara@yandex.ru

Широкий спектр биологической активности и низкая токсичность флавоноидов способствуют расширению поиска новых перспективных продуцентов и использования их в качестве основы фармакологических препаратов.

К настоящему времени известно, что флавоноиды синтезируют такие виды рода *Serratula* L. (*Asteraceae*) как *S.coronata* L., *S.gmelinii* Tausch., *S.lycopifolia* (Vill.) A. Kerner, *S.tinctoria* L. [1], *S.strangulata* Pjin. [2]. Имеются сведения о присутствии в *S.coronata* апигенина, лютеолина, кверцетина, кемпферола, рутина [3], изокемпфериды, 3-метилкверцетина [4]. На основе флавоноидов *S.coronata* создана субстанция «Кардистен» для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний (ООО Комибиофарм).

Целью настоящей работы является изучение флавоноидов видов рода *Serratula* - *S.manshurica* Kitag., *S.gmelinii* Tausch., *S.cupuliformis* Nakai & Kitagawa, интродуцированных в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета. Методом ВЭЖХ показано, что растения *S.gmelinii* обладают наименьшей способностью к накоплению и синтезу флавоноидов (изокверцитрин). В надземной части других видов установлено присутствие кверцетина, изокверцитрина, апигенина. Кроме того, в *S.manshurica* выявлены цинарозид и хризин-7-0-глюкозид. Обнаружен ряд неидентифицированных соединений, присутствующих во все фазы вегетации, максимумы поглощения которых позволяют отнести их к группе флавоноидов.

Пик аккумуляции флавоноидов в изученных видах наблюдается в периоды активного роста растений: в *S.gmelinii* и *S.manshurica* в фазу бутонизации, тогда как в *S.cupuliformis* – в начале вегетации. Показано, что содержание флавоноидов наибольшее в листьях, в надземной части достаточно высокое в фазы максимального аккумуляции в *S.manshurica* и *S.cupuliformis*, 4,2 и 13,2 % соответственно,

В *S.manshurica* наибольшие значения суммы флавоноидов, цинарозида и изокверцитрина наблюдаются на 4-ом, тогда как хризин-7-0-глюкозида и мажорного компонента не установленной пока структуры (НИС12) – на 5-ом году жизни растений. Содержание последнего флавоноида варьирует в диапазоне 0,8-1,5 %.

Изучение состава флавоноидов в этилацетатной, бутанольной фракциях, выделенных из перспективного вида *S.cupuliformis*, и идентификация структур современными физико-химическими методами продолжается.

### Литература:

1. Báthori M., H. Kalász, S. A. Csikkelné, I. Máthé Components of *Serratula* species; screening for ecdysteroid and inorganic constituents of some *Serratula* plants. / Báthori M., H. Kalász, S. A. Csikkelné, I. Máthé. //Acta Pharm Hung. – 1999. – 69 (2). – С. 72-6.
2. Wang S. Identification and Determination of Ecdysones and Flavonoids in *Serratula strangulata* by Micellar Electrokinetic Capillary Chromatography. /S. Wang, J. Dai, X. Chen, Z.Hu. //Planta Med. – 2002. - 68 (11). – С. 1029-1033.
3. Ангаскиева А.С. Фармакогностическое исследование серпухи венценосной, культивируемой в Сибири Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. фармацевт. наук Томск, 2006. 19 с.
4. Мягчилов, А.В. Флавоноиды растений *Fagopyrum sagittatum* Gilib. (гречихи посевной) и *Serratula coronata* L. (серпухи венценосной): методы выделения, идентификация веществ, перспективы использования. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук Владивосток, 2015. 22 с.

---

## ДЕЙСТВИЕ НАНОКРЕМНИЯ НА СК-ОПОСРЕДОВАННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ В ОТВЕТ НА ИНВАЗИЮ ГАЛЛОВОЙ НЕМАТОДОЙ

Зиновьева С.В., Удалова Ж.В., Хасанов Ф.К.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, zinovievas@mail.ru

В последнее десятилетие активно ведется изучение биологической активности наночастиц кремния (НЧ-Si), которые благодаря уникальным физическим и химическим свойствам могут легко проникать в клетки растений и влиять на их метаболизм. Имеется ряд публикаций, в которых показано влияние НЧ-Si на устойчивость растений к болезням, вызванным грибами, бактериями и нематодами (Rajput, et al., 2021).

На системе томаты – галловая нематода *Meloidogyne incognita* показано, что НЧ-Si, полученные методом лазерной абляции (Roldugin et al., 2015), стимулируют ростовые процессы, снижают зараженность корневой системы нематодами и оказывают ингибирующее влияние на морфо-физиологические показатели нематод. При этом наблюдалось возрастание фотосинтетических пигментов и ряда биогенных элементов в инвазированных растениях, свидетельствующих об улучшении их физиологического состояния. Эти данные позволили рассматривать НЧ-Si в качестве абиогенного индуктора, активизирующего системную приобретенную устойчивость (СПУ) в ответ на инвазию. Развитие СПУ сопровождается возрастанием содержания во флоэме растений салициловой кислоты (СК). Обработка НЧ-Si повышала содержание СК в корнях инвазированных нематодой растений в 1, 8 раза по сравнению с необработанными. СК в настоящее время рассматривается как эндогенный полифункциональный биорегулятор фенольной природы, принимающий участие в клеточном сигналинге, ростовых процессах, формировании адаптивных реакций растений. Одной из важных функций эндогенной СК является модификация эффектов АФК, что связано с ее влиянием на ключевые про- и антиоксидантные ферменты. Одним из возможных механизмов действия кремния, влияющих на растения в стрессовых условиях, являются образование АФК и усиленный антиоксидантный метаболизм (Gulzar et al., 2021), который регулируется в клетке при участии эндогенной СК. Наличие повышенных уровней СК в обработанных НЧ-Si растениях может усиливать выработку АФК под действием нематод и генерировать реакцию СВЧ в корнях.

Наши исследования показали, что характер изменений ферментативной активности, регулирующий действия свободных радикалов в корнях томатов, обработанных НЧ-Si, был разнонаправленным, и зависел от стадии развития нематоды и вида антиоксиданта. Динамика активности ПО, КАТ и СОД, а также ПОЛ в корнях таких растений аналогична изменениям ферментативной активности у растений томатов с СК-индуцированной устойчивостью к *M.incognita* (Удалова и др., 2019).

Важным звеном в защите растений являются белки PR-семейства. Синтез PR-белков при патогенезе определяется изменениями в экспрессии соответствующих PR-генов, что в итоге отражает устойчивость/восприимчивость растений к заражению. Проведенные исследования показали, что обработка растений НЧ-Si изменяла активность транскриптома в сторону индукции экспрессии генов, связанных с салицил-зависимым сигналингом (*PR1*, *PR2*, *PR5*) и гена *PAL*, при этом взаимоотношения между растением и паразитом смещаются в сторону повышения устойчивости растения к нематодам. Несмотря на то, что все изученные гены имели сходную динамику изменения экспрессии, наиболее значительное накопление транскриптов можно отметить у генов *PR1*. Динамика и уровень накопления транскриптов PR-генов сопоставимы с таковыми у устойчивых растений, обусловленной геном *Mi1,2*, экспрессия которого связана с СК (Molinary et al., 20014).

Таким образом, полученные данные показали, что в растениях томатов при инвазии паразитическими нематодами, НЧ-Si выполняют, по-видимому, роль прайминга, влияющего на СК-опосредованный индуцированный защитный ответ, тем самым оказывают влияние на паразито-хозяйинные отношения в системе.

---

## РЕГУЛЯТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАЛЬЦИЯ НА РАСТЕНИЯ ЧАЯ: СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ L-ФЕНИЛАЛАНИНАММИАК-ЛИАЗЫ

**Зубова М.Ю., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В., Малюкова Л.С.\***

ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва,  
mariia.zubova@yandex.ru

\*ФГБУН ФИЦ Субтропический научный центр РАН, Сочи

К важным факторам, определяющим продуктивность растительных культур промышленного использования, относится экзогенное воздействие биогенных элементов. К их числу относится кальций (Са) для которого характерна многофункциональность действия на процессы роста, фотосинтеза, устойчивости к стрессовым воздействиям, состав микробиоты почв (Малюкова и др., 2020; Нечаева и др., 2021).

Важное значение в пищевом рационе человека отводится продуктам, получаемым из растений чая (*Camellia sinensis* L.). Это уникальная культура, из молодых листьев которой получают широко потребляемый во всем мире ценный напиток - чай. Его ценность обусловлена наличием фенольных соединений (ФС) – веществ с Р-витаминной капилляроукрепляющей активностью. Несмотря на значительное число работ по изучению их образования в молодых побегах чая, мало известно об изменениях в биосинтезе этих вторичных метаболитов при выращивании растений на почвах, обогащенных Са.

ФС представляют собой одни из наиболее распространенных вторичных метаболитов растений, которым отводится важная роль в антиоксидантной системе защиты клеток от действия активных форм кислорода. Эти вещества образуются из продуктов первичного метаболизма (L-фенилаланина) при участии L-фенилаланинаммиак-лиазы (ФАЛ) – ключевого фермента фенольного метаболизма.

В связи со всем вышеизложенным целью исследования было сравнение накопления ФС и активности ФАЛ в молодых побегах растений чая, выращиваемых в стандартных условиях или в присутствии Са.

Объектом исследования являлись растения чая сорта Колхида, произрастающие на опытной плантации (г. Сочи, п. Дагомыс, пос. Уч-Дере). В летний период 2020-2021 гг. осуществляли их подкормку аммиачной (контроль) или кальциевой (опыт) селитрой в единой дозе (N100). Для исследования использовали листья однолетних побегов, в которых определяли содержание суммы ФС и активность ФАЛ ранее описанными методами (Олениченко, Загоскина, 2005).

Как было показано ранее, выращивание растений чая на почвах, обогащенных Са способствовало лучшему их росту и формированию биомассы, что имеет важное значение для сбора сырья (Малюкова и др., 2016). Определение суммарного содержания ФС в листьях однолетних побегов чая не выявило значительных различий между контрольным и опытным вариантами, что свидетельствует о стабильном их накоплении, которое не изменялось при экзогенном действии Са. Иная тенденция отмечалась в отношении активности ФАЛ. В опытном варианте она была почти на 20 % выше, чем в контроле. Исходя из этих данных можно отметить регуляторное действие Са на начальные этапы метаболизма фенольных соединений в растениях чая, а именно на активность ФАЛ – «ключевого» фермента этого процесса. Также можно предположить наличие изменений и в составе фенольного комплекса этой культуры, что требует дальнейших исследований.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5), а также гранта РФФИ и Администрации Краснодарского края № 19-416-230049.*



---

## SEASONAL CHANGE IN POLYPHENOLS CONTENT AND THEIR ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE LEAVES OF EUROPEAN BEECH (*FAGUS SYLVATICA*)

Ivanova R. A., Elisovetcaia D.S.

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Moldova, ivanova\_raisa@yahoo.com

*Fagus sylvatica* L. (European beech) is one of the species heavily affected by climate change. It was previously reported that beech leaf polyphenolic compounds and their antioxidant activity can be used as potential biomarkers of growth and climatic adaptation of beech cultivars. Our research is focused on the adaptation of beech seeds of different origins to growth in the created conditions. The purpose of this work was to evaluate the accumulation of polyphenolic compounds in leaves of two-year-old beech seedling grown in a solarium with drip irrigation, but ed uncontrolled temperatures. Seeds were collected in autumn 2019 from European beech stand in the Slovak Republic (Tribeč Mountains, Western Carpathians) and after stratification were sown in a solarium. The experiments were carried out during 2021. The collection of leaves for analysis began in the phase of full blooming of the leaves and continued monthly until the end of autumn. The total polyphenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu procedure, and was expressed as milligrams of gallic acid equivalents (GAEs) per gram of fresh leaves. Gallic acid calibration curve ( $R^2=0.9914$ ) was built up in the range 0–250  $\mu\text{g/ml}$ . Antioxidant activity of leaves extracts was assessed by determination of DPPH• scavenging capacity using Trolox as standard antioxidant substance. Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) was calculated.

As the average daily air temperatures in the solarium increased from May to September, a proportional accumulation of polyphenolic compounds in beech leaves was observed. Thus, at the end of May, the total phenolic content was  $10.49\pm 0.14$  mg/g, and in September -  $17.72\pm 0.41$  mg/g. These data correlate well with the results reported by other researchers, namely, that changes in environmental conditions such as changed higher temperatures cause changes in the concentration of foliar phenols in beech. In yellow leaves, that did not fall from seedlings until November, the concentration of total phenolic compounds was approximately equal ( $17.76\pm 0.34$  mg/g) to that in leaves from September.

The antioxidant activity of leaves extracts had a direct linear dependence on the content of polyphenols in parallel samples of leaves harvested at the same time. Pearson's correlation coefficient ranged from 0.7716 to 0.9746. However, we did not find a direct correlation between the antioxidant activity of leaves extracts and the content of polyphenols in leaves collected during the entire observation season. This can be explained by the fact that total polyphenols may account for the major portion of the antioxidant activity of beech leaves, but polyphenolic composition and accumulation of some individual compounds in different phases of plant growth also affect the TEAC index. Biosynthesis, accumulation and oxidation of polyphenols is a highly complex process and depends on many factors, which partially counteract each other. In addition, we did not found any relationship between the height of beech seedlings and total polyphenolic content in its leaves. However, the study of individual polyphenolic compounds in beech leaves using HPLC-MS/MS procedure showed that there is a direct relationship between the concentration of some individual compounds and morpho-biological features. Research in this area can be put into perspective with the aim of breeding beech varieties that are resistant to the provocations of climate change.

*The present research was carried out in frame of State programs #20.80009.7007.07 by financial support of the National Agency for Research and Development of the Republic of Moldova (www.ancd.gov.md).*



---

## ОБРАБОТКА СЕМЯН ЯЧМЕНЯ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ ПОВЫШАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕДОСТАТКУ ЦИНКА В СУБСТРАТЕ

Игнатенко А.А., Холопцева Е.С., Батова Ю.В., Казнина Н.М.

Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, angelina911@ya.ru

Известно, что салициловая кислота (СК) сочетает в себе свойства фитогормона и сигнального интермедиата и играет важную роль в повышении устойчивости растений к воздействию неблагоприятных факторов различной природы, в частности, низкой и высокой температур, засоления, засухи, тяжелых металлов, патогенов. Протекторную роль СК связывают с ее влиянием на процессы фотосинтеза, дыхания и водного обмена, участием в регуляции клеточного деления, работы антиоксидантной системы и синтеза ряда защитных белков. Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют данные о возможной роли СК в повышении устойчивости растений к недостатку микроэлементов. В связи с этим целью данного исследования стало изучение влияния обработки семян СК на устойчивость растений ячменя к недостатку цинка в корнеобитаемой среде.

В качестве объекта использовали растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.), сорта Нур. Семена до посева проращивали в течение суток на дистиллированной воде или на растворе СК (10 мкмоль/л) и затем высаживали в вегетационные сосуды с песчаным субстратом (по 12 штук на сосуд). Концентрацию СК и длительность обработки выбирали на основании предварительных экспериментов. Растения выращивали в вегетационных условиях в течение 30 суток до фазы выхода в трубку. Контрольный вариант поливали питательным раствором Хогланда-Арнона с оптимальной концентрацией цинка (2 мкмоль/л), а опытный – питательным раствором без цинка. Об устойчивости растений ячменя к недостатку цинка судили на основании изменения ростовых показателей и активности фотосинтетического аппарата.

Проведенные исследования показали, что в оптимальных условиях минерального питания обработка семян СК не влияла на показатели роста растений ячменя, но вызывала повышение устьичной проводимости и интенсивности транспирации.

Недостаток цинка в субстрате оказывал негативное влияние на рост ячменя. В частности, обнаружено, что у растений уменьшались высота побега, его сырая биомасса, длина и площадь 4-го и 5-го листьев. При этом интенсивность фотосинтеза и транспирации не изменялись, а устьичная проводимость несколько увеличивалась.

В отличие от этого, у растений, семена которых были предварительно обработаны СК, торможения роста при недостатке цинка не наблюдалось. Напротив, отмечалось даже увеличение длины 4-го листа. Помимо этого у растений возрастала скорость фотосинтеза. Важно отметить, что устьичная проводимость, интенсивность транспирации и фотосинтеза у растений, обработанных СК, в условиях дефицита цинка были существенно выше по сравнению с таковыми у растений, которые не подвергались обработке.

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что предпосевная обработка семян СК повышает устойчивость ячменя к недостатку цинка в корнеобитаемой среде, вызывая активизацию фотосинтетических процессов и увеличение интенсивности транспирации, что способствует лучшему росту растений в этих условиях.

*Исследование выполнено за счет финансирования гранта РНФ (проект №22-26-00168).*

---

## СТРУКТУРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛОРОТАННИНОВ ФУКУСОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ (PHAEOPHYCEAE)

Исламова Р. Т.<sup>1</sup>, Лемешева В. С.<sup>1</sup>, Биркемайер К.<sup>2</sup>, Степченкова Е. И.<sup>1,3</sup>, Тараховская Е.Р.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Университет Лейпцига, Лейпциг, Германия,

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский филиал Института общей генетики им. Н.И.Вавилова РАН,  
Санкт-Петербург, elena.tarakhovskaya@gmail.com

Флоротаннины известны как специфические вторичные метаболиты бурых водорослей. Это полимерные и олигомерные фенольные соединения, базовой структурной единицей которых является молекула флороглуцина (1,3,5 - тригидроксibenзола). Несмотря на то, что флоротаннины играют важную роль в экофизиологии морских макрофитов и являются потенциально ценными биологически активными соединениями (в т. ч., антиоксидантами и антибиотиками), эти вещества остаются пока одной из наименее изученных групп метаболитов водорослей. Структурный анализ флоротаннинов из природных источников представляет значительную сложность вследствие того, что эти вещества формируют сложную смесь близких по химической структуре молекул с многочисленными изомерами. Флоротаннины накапливаются в тканях бурых водорослей в значительных количествах (до 30% сухой массы), наиболее высоким содержанием этих метаболитов отличаются представители пор. *Fucales*. Цель данной работы состояла в исследовании молекулярной структуры и антибиотической активности флоротаннинов нескольких видов фукусовых водорослей.

При помощи жидкостной хроматографии - масс-спектрометрии в экстрактах фукусовых водорослей были выявлены и охарактеризованы более 30 структурных классов молекул флоротаннинов. Показано, что фенольные соединения исследованных водорослей представлены многокомпонентной смесью молекул разных классов, среди которых доминирующими являются фуколы, фугалолы, а также несколько разновидностей флоротаннинов дибензо-1,4-диоксинового ряда (эколы и кармалолы разной степени гидроксирования). В качестве минорных фракций было выявлено несколько типов модифицированных флоротаннинов: по-видимому, наиболее частыми модификациями являются окисление, ацетилирование, гидроксирование и гликозилирование. Исследование распределения флоротаннинов с разной молекулярной структурой и степенью полимеризации по зонам таллома водорослей показало, что в молодых активно делящихся апикальных клетках преобладают относительно низкомолекулярные флоротаннины класса фуколов и фугалолов, а в основании таллома и репродуктивных органах (рецептакулах) – дибензодиоксиновые флоротаннины с более высокой степенью полимеризации и с большим количеством модификаций. Разные виды фукоидов демонстрируют специфический флоротанниновый профиль. Так, клетки *Fucus vesiculosus* преимущественно содержат низкомолекулярные растворимые фуколы, в то время как в клетках *Pelvetia canaliculata* преимущественно накапливаются флоротаннины с более высокой степенью полимеризации. Все исследованные препараты флоротаннинов проявляли значительную антибиотическую активность в отношении про- и эукариотических одноклеточных организмов (грамотрицательные бактерии, дрожжи, одноклеточные зеленые водоросли). Минимальные ингибирующие концентрации существенно варьировали в зависимости от объекта и молекулярного состава препаратов флоротаннинов, и составили от 5 (для дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*) от 500 (зеленые микроводоросли) мкг/мл. По-видимому, степень токсичности полифенолов для микроорганизмов в значительной степени определяется спецификой их молекулярного состава.

*Исследование было выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-04-00944).*

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОДНО-СПИРТОВЫХ ИЗВЛЕЧЕНИЯХ ИЗ ПЛОДОВ И ЛИСТЬЕВ

Исупова М.В., Елец А.А., Гребенев И.Р., Лучинин Г.А., Товстик Е.В.  
ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, Киров, isupovamaria341@gmail.com

Растительные полифенолы (РПФ) являются объектом исследования во многих отраслях знаний (рисунок 1).

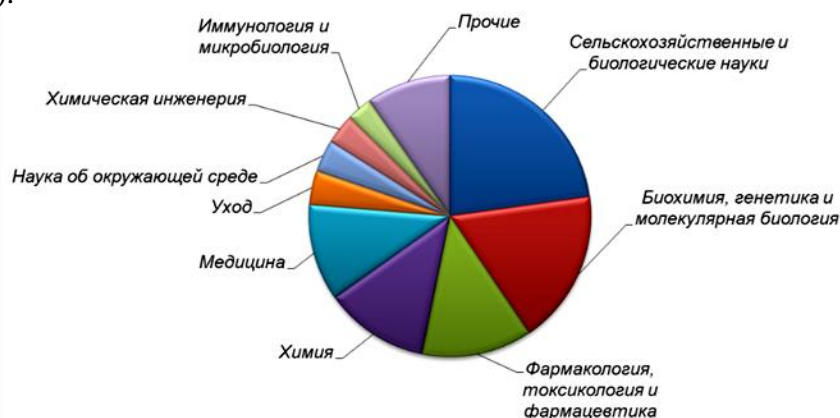


Рисунок 1. Количество документов (%) по отраслям знаний с тематическим запросом «Plant, polyphenols» в базе данных Scopus (www.scopus.com) за период 1951–2022 гг.

Однако наибольший интерес к РПФ сосредоточен в области производства продуктов питания, а также фитопрепаратов, что связано с их положительной ролью в профилактике и лечении различных заболеваний, в том числе вызванных SARS-CoV-2 [1]. Традиционно, в качестве богатейшего источника полифенолов рассматривают плодово-ягодное сырье, в меньшей степени листья плодовых деревьев и кустарников [2].

Цель работы – оценка содержания полифенольных соединений (ПФ) в плодах и листьях рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* L.) и облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), произрастающих на территории г. Кирова.

Определение суммарного содержания ПФ в водно-спиртовых извлечениях из плодов и листьев проводили с опорой на ГОСТ 55488-2013 по методу Фолина-Чокальтеу с применением одноименного реактива. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту. Экстрагирование ПФ из растительного сырья осуществляли 70%-ым этиловым спиртом.

Установлено, что содержание ПФ в плодах облепихи крушиновидной составляет  $15,1 \pm 0,1$  мг/г; плодах рябины обыкновенной –  $17,8 \pm 1,6$  мг/г; черноплодной рябины –  $55,9 \pm 0,3$  мг/г. Листья, по содержанию в них ПФ не уступают плодам:  $83,1 \pm 1,7$ ;  $54,2 \pm 2,8$ ;  $116,3 \pm 2,1$  мг/г соответственно. Из рассматриваемых растений, больше всего ПФ, как в плодах, так и листьях содержится в черноплодной рябине.

Таким образом, оценка содержания ПФ, позволила установить, что листья плодовых деревьев и кустарников, являются более перспективным источником РПФ, чем плоды.

### Литература:

- Kicker E., Tittel G., Schaller T., Pferschy-Wenzig E.-M., Zatloukal K., Bauer R. SARS-CoV-2 neutralizing activity of polyphenols in a special green tea extract preparation // *Phytomedicine*. 2022. V. 98. Art. 153970.
- Боярских И.Г. Изменчивость индивидуально-группового состава полифенолов плодов и листьев образцов голубых жимолостей разного эколого-географического происхождения в условиях лесостепи Приобья // *Химия растительного сырья*. 2021. № 2. С. 145–154.

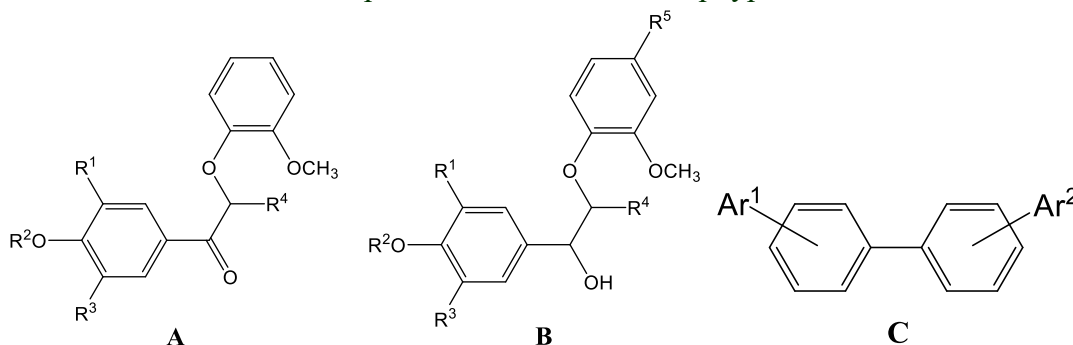
## ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИГНАНОВ РЯДОВ $\beta$ -О-4 АРИЛОВЫХ ЭФИРОВ И БИАРИЛОВ ПРОТИВ ПАТОГЕНОВ И ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Закусило Д.Н.<sup>1</sup>, Калугина А.В.<sup>1</sup>, Сокорнова С.В.<sup>2</sup>, Митина Г.В.<sup>2</sup>, Шапошников А.И.<sup>3</sup>,  
Васильев А.В.<sup>1</sup>, Юзихин О.С.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,  
Санкт-Петербург, zakusilo@inbox.ru

<sup>2</sup>ФГБНУ Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии, Санкт-Петербург



**A1:** R<sup>1</sup> = OCH<sub>3</sub>, R<sup>2</sup> = CH<sub>3</sub>, R<sup>3</sup> = H, R<sup>4</sup> = H, R<sup>5</sup> = H; **A2:** R<sup>1</sup> = OCH<sub>3</sub>, R<sup>2</sup> = CH<sub>3</sub>, R<sup>3</sup> = OCH<sub>3</sub>, R<sup>4</sup> = H, R<sup>5</sup> = H; **A3:** R<sup>1</sup> = H, R<sup>2</sup> = CH<sub>3</sub>, R<sup>3</sup> = H, R<sup>4</sup> = CH<sub>3</sub>, R<sup>5</sup> = H; **A4:** R<sup>1</sup> = H, R<sup>2</sup> = H, R<sup>3</sup> = H, R<sup>4</sup> = CH<sub>3</sub>, R<sup>5</sup> = H; **B1:** R<sup>1</sup> = OCH<sub>3</sub>, R<sup>2</sup> = H, R<sup>3</sup> = OCH<sub>3</sub>, R<sup>4</sup> = H, R<sup>5</sup> = CH<sub>3</sub>; **C1:** Ar<sup>1</sup> = 4-OCH<sub>3</sub>, Ar<sup>2</sup> = Ph; **C2:** Ar<sup>1</sup> = 4-OH, Ar<sup>2</sup> = Ph; **C3:** Ar<sup>1</sup> = Ar<sup>2</sup> = 2-CH<sub>3</sub>, 3,4-OCH<sub>2</sub>O-Ph; **C4:** Ar<sup>1</sup> = Ar<sup>2</sup> = 2-Br, 4,5-(OCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-Ph; **C5:** Ar<sup>1</sup> = Ar<sup>2</sup> = 2-OCH<sub>3</sub>, 5-CHO-Ph; **C6:** Ar<sup>1</sup> = Ar<sup>2</sup> = 2-CH<sub>3</sub>, 4,5-(OCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-Ph; **C7:** Ar<sup>1</sup> = Ar<sup>2</sup> = 2-OH, 4-OCH<sub>3</sub>, 5-CHO-Ph.

Аналоги природных лигнанов, содержащих  $\beta$ -О-4 эфирную связь, а также биарилы представляют большой научный интерес из-за своих потенциально полезных биологических свойств. Ряд этих соединений был получен по стандартным литературным методикам [1,2]. Изучение антибактериальной и фунгицидной активности полученных синтетических лигнанов в отношении патогенных микроорганизмов *Clavibacter michiganensis* 101 и *Alternaria Solani* показало, что в целом, лигнаны, содержащие  $\beta$ -О-4 эфирную связь, обладали слабой антибактериальной и чуть более ярко выраженной фунгицидной активностью. Как правило, активность этих соединений проявлялась уже на третьи сутки и далее менялась незначительно. Наибольшую активность из изученных соединений показало А1. Биарилы, напротив, продемонстрировали большую антибактериальную и отсутствие фунгицидной активности. Также была исследована гербицидная активность полученных лигнанов в отношении растений семейств Fabaceae, Utricaceae, Lamiaceae, Plantaginaceae, Asteraceae, Asteraceae, Сурегасеае, многие представители которых являются сорняками.  $\beta$ -О-4-ариловые эфиры продемонстрировали наибольшую активность в отношении растений семейства бобовых (максимальная для А4 и В1), менее ярко выраженную – в отношении растений семейств осоковых и крапивных. Кроме того, они показали слабое угнетение роста корней растений салата. Некоторые биарилы (С4, С5 и С6), напротив, показали стимулирование роста корней.

Таким образом, предварительные эксперименты по изучению биологической активности лигнанов, содержащих  $\beta$ -О-4 эфирную связь и биарилов показали их перспективность для борьбы с патогенными микроорганизмами и растениями-вредителями.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00341.*

### Литература:

1. Закис Г.Ф. Синтез модельных соединений лигнина. – Рига: 1980. – 288с.
2. Руденко А.П., Прагст Ф. Электрохимическое окисление органических соединений во фторсульфоновой кислоте. Журнал органической химии. 1998, № 34, Вып.11, С. 1659-1696.

---

## **ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ФЕНИЛПРОПАНОИДНЫМ МЕТАБОЛИЗМОМ, В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

**Кабачевская Е.М., Смирнов А.А., Суховеева С.В.**

ГНУ Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск,  
kabachevskaya@ibp.org.by

Среди множества вторичных метаболитов, синтезируемых в растениях, важное место занимают фенилпропаноидные соединения. Их образование характерно практически для всех видов растений, так как они выполняют ряд значимых функций в растительной клетке. Среди таких функций можно назвать укрепление барьерных свойств клеточной стенки, мощную антиоксидантную активность, антимикробную активность, кроме того они придают растительной продукции пряно-ароматические свойства.

В связи с высокой биологической активностью фенилпропаноидов актуальным представляется изучение механизмов регуляции их метаболизма, в том числе на уровне экспрессии генов, кодирующих ферменты фенилпропаноидного пути (ФП) при действии различных факторов внешней среды. В данной работе приводятся результаты исследований динамики изменений экспрессии некоторых генов, ассоциированных с ФП, при действии биотического (инфицирование фитофторой картофеля) или абиотического (изменение спектрального состава освещения растений базилика) факторов внешней среды. В числе ключевых ферментов ФП можно назвать фенилаланин-аммиак-лиазу (PAL), циннамат-4-гидроксилазу (C4H), 4-кумарат-СоА лигазу (4CL) тирамин-N-гидроксициннамоил-трансферазу (ТНТ), дегидрогеназу коричневого спирта (CAD), эугенолсинтазу (EGS), кодируемых одноименными генами.

На примере листьев растений картофеля показано, что, в первые 3 суток после их инфицирования фитофторой, характер изменений экспрессии генов PAL, C4H, ТНТ, а также трех генов семейства CAD (1, 6, 9) различается в контрастных по устойчивости сортах. При этом для высокоустойчивого сорта, в отличие от неустойчивого, характерно быстрое, не синхронное увеличение содержания транскриптов исследованных генов. Например, в устойчивом сорте происходит последовательное усиление экспрессии генов CAD: первым активируется ген CAD6 (1 сутки после заражения), вторым - CAD1 (2 сутки после заражения), третьим – CAD9 (3 сутки заражения). В неустойчивом сорте в те периоды времени, когда в устойчивом сорте происходит максимальное усиление экспрессии изучаемых генов, уровень их экспрессии не изменялся или наблюдалось даже его снижение.

Изучалось также влияние спектрального состава освещения на экспрессию генов 4CL и EGS в листьях растений базилика зеленого и фиолетового сортов, выращиваемых в условиях закрытой светокультуры путем реализации облучающего спектра солнечного излучения световыми приборами на основе светодиодов. Оценивалось влияние трех вариантов спектра, различавшихся по соотношению «красной» области ФАР к «синей». Полученные данные свидетельствуют о том, что тестируемые варианты спектра могут модулировать экспрессию генов, ассоциированных с накоплением биологически активных веществ, однако четкой синхронности между двумя генами не выявлено, то есть если менялась экспрессия одного из первичных генов фенилпропаноидного метаболизма 4CL, это не обязательно приводило к изменениям в том же направлении экспрессии гена EGS синтеза эугенола.

Полученные данные свидетельствуют о том, что экспрессия генов, ассоциированных с метаболизмом фенилпропаноидов, чувствительна к действию различных факторов внешней среды, как биотической, так и абиотической природы, и проявляет сложную зависимость от интенсивности и продолжительности воздействия сигнала.



---

## ПРОТЕКТОРНАЯ РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ УРОВНЯ АНТОЦИАНОВ У КАРТОФЕЛЯ ПРИ ХОЛОДОВОМ СТРЕССЕ *IN VITRO*

Кадырбаев М.К., Головацкая И.Ф., Бойко Е.В.

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
kadyrbaev.maks@mail.ru

Для решения вопросов семеноводства картофеля широко используется микроклональное размножение оздоровленных растений. Важным этапом в получении конечной продукции служит адаптация пробирочных растений к жидкой среде и атмосфере. Полученная аквакультура является удобной моделью для изучения гормональной регуляции роста и устойчивости растений к негативным факторам среды. Наиболее часто встречаемым стрессором в полевых условиях для картофеля служит возвратное понижение температуры. В качестве регулятора устойчивости может выступать природный антиоксидант – мелатонин (Мел). Встаёт вопрос, сможет ли заблаговременная предобработка Мел регулировать процессы, повышающие регенеративные способности растений после действия гипотермии.

Объектом исследования служили регенеранты картофеля среднеспелого сорта Луговской. Микроклоны со среднего и верхушечного ярусов культивировали на твёрдой среде в пробирках до 28-дневного возраста, затем адаптировали в течение 2-х недель к жидкой 50% МС при температуре 22° С. Одна группа растений продолжала расти на МС (контроль), другая была обработана Мел (опыт). Вслед за 4 часовой корневой обработкой 0,1 мкМ Мел растения культивировали 7 дней для реализации действия Мел на ростовые и метаболические процессы. Затем проводили охлаждение части растений из обеих групп до 4° С в течение 3 дней. Для оценки последствия стрессора возвращали растения в нормальные условия и через 10 дней фиксировали их ростовые (размеры и массу) и биохимические (содержание антоцианов – Ант) параметры.

Полученные из апикальных микроклонов контрольные регенеранты (АР) отличались по ростовому потенциалу от полученных из средних микроклонов регенерантов (СР). Вероятно, это было обусловлено разным гормональным фоном исходных микроклонов. Известно о повышенном уровне ИУК в верхушке побега растений. Контрольные АР имели большую длину и массу стебля, количество столонов и площадь листьев, но меньшую длину корней по сравнению с СР. Повышенный ростовой потенциал АР способствовал снижению содержания Ант в средних листьях относительно такового у СР, что можно объяснить отвлечением сахаров на рост при более высоком содержании ИУК в АР.

Обработка Мел регулировала рост регенерантов, увеличивая размеры и массу корня и листьев у АР, количество столонов и длину стебля у СР. При этом в листьях АР существенно уменьшалось содержание Ант, тогда как у СР оставалось на уровне контроля.

В процессе регенерации растений после действия стрессора (низкой положительной температуры) происходило перераспределение веществ: увеличивался прирост сухого вещества в корне и листьях каждой линии регенерантов, что сопровождалось уменьшением массы стебля. Одновременно наблюдалось повышение содержания Ант в листьях среднего яруса у АР, но снижение у СР. Следует указать на известную зависимость синтеза Ант от доступных углеводов в листе.

Действие Мел на рост регенерантов после гипотермии выражалось в увеличении всех ростовых показателей. Специфика проявлялась в большем увеличении площади листьев и количестве столонов у АР, и массе корня у СР. Одновременно Мел восстанавливал в листьях уровень Ант, соответствующий контролю изученных линий регенерантов картофеля.

*Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).*



---

## **РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ОДРЕВЕСНЕНИИ ГРЕБНЯ ПРИ ИНДУЦИРОВАННОЙ БЕССЕМЯННОСТИ СЕМЕННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА**

**Казахмедов Р.Э.**

Дагестанская селекционная опытная станция виноградарства и овощеводства – филиал ФГБНУ  
Северо-Кавказский ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Дербент, kre\_05@mail.ru

Бессемянность, под которой следует понимать отсутствие семян или наличие только их рудиментов, ценный признак для столовых сортов винограда. Наряду с усилением селекционной работы по выведению бессемянных сортов и ускоренным их размножением, актуально получение бессемянных ягод у распространенных высококачественных семенных сортов, что также может способствовать значительному повышению содержанию сахаров в ягодах и ускорению начала созревания урожая. Нами разработаны теоретические и методические основы получения бессемянных ягод у семенных сортов винограда. Однако у ряда сортов при практической реализации элементов технологии отмечается одревеснение гребня, порой значительное, что снижает коммерческую ценность столового винограда, повышает осыпаемость бессемянных ягод и потери урожая при транспортировке.

Нами было предположено, что при индукции бессемянности у семенных сортов в генеративных органах винограда начинает преобладать пентозофосфатный путь дыхания, вследствие чего активизируется синтез фенольных соединений-предшественников лигнина и ИУК. Установлено, что в основе одревеснения гребня винограда при индукции бессемянности путем совместного применения препаратов гиббереллинового, цитокининового и ауксинового действия лежит усиление двух сопряженных процессов- ксилогенеза и лигнификации. Выявлено увеличение содержания фенольных соединений с орто-диоксигруппировкой, способствующих накоплению или сохранению ИУК в клетке, в 1,76 раза на 5 день после применения «фактора бессемянности» (смесь регуляторов роста), индуцирующего более 95 % бессемянности в грозди винограда сорта Агадаи. Введение бора (200 мг/л) и поливинилпирролидона (100 мг/л) в «фактор бессемянности» снижало содержание фенольных соединений на 25 % и до уровня контрольного варианта, соответственно. Действие препаратов не сохранялось к 40 дню после применения, более того, содержание фенольных соединений повышалось в 1,5-1,8 раз. Однако, в целом, бор и поливинилпирролидон снижали в некоторой степени одревеснение гребня, но, основной причиной данного явления следует признать усиление ксилогенеза в элементах гребня винограда.

---

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS*) И ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA*) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Калугина О.В., Афанасьева Л.В.

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск,  
olignat32@inbox.ru

Хвойные леса на территории Байкальского региона занимают более 80% лесопокрытой территории. Их состояние зависит от целого ряда факторов, включая хроническое воздействие техногенного загрязнения. Исследования проводились в лесах севера региона на разном удалении от Братского алюминиевого завода (БрАЗ) – крупнейшего в стране предприятия по производству алюминия. Количество выбросов этого завода в атмосферу превышает 80 тыс. т. загрязняющих веществ (Государственный ..., 2021), наиболее токсичными компонентами являются фторсодержащие соединения, диоксид серы, оксид углерода, окислы азота, твердый аэрозоль, а также полициклические ароматические углеводороды. Объектом исследования являлись светлохвойные породы деревьев – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и лиственница сибирская (*Larix sibirica*). В результате фолиарного и почвенного поглощения элементов-поллютантов в хвое деревьев происходит нарушение содержания биогенных элементов, возникают множественные изменения в метаболических процессах. Наиболее опасным последствием техногенного загрязнения является развитие окислительного стресса у деревьев, при котором внутри клеток образуется избыточное количество активных форм кислорода. Известно, что большинство фенольных соединений являются природными антиоксидантами и способны к нейтрализации свободно-радикальных процессов, осуществляя, таким образом, защитно-стабилизирующую функцию в клетках растений (Запрометов, 1993).

Нами показано, что на фоновых (незагрязненных) территориях общее содержание фенолов в хвое деревьев сосны составляет 24,2 мг/г сухой массы. При слабом и среднем уровнях загрязнения оно постепенно увеличивается, достигая максимальных значений (30 мг/г сухой массы) при сильном уровне, при критическом уровне отмечается снижение общего пула фенольных соединений в среднем на 15%. Что касается содержания флавоноидов и катехинов, то по мере усиления загрязнения их содержание в хвое увеличивается на 23-46%, однако при критическом уровне становится ниже фоновых значений на 15-20%. Для проантоцианидинов регистрируется выраженная тенденция падения их концентрации в хвое деревьев по мере возрастания градиента загрязнения: при слабом уровне на 25%, при среднем – на 33%, при сильном – на 44%, при критическом уровне – на 46% по сравнению с фоновым уровнем. В хвое лиственницы на фоновых территориях общее содержание фенолов выше, чем в хвое сосны и составляет 34,4 мг/г сухой массы. По мере усиления техногенной нагрузки оно постепенно возрастает, максимальные значения, превышающие фоновый уровень на 50-55%, обнаруживаются при сильном уровне загрязнения. Кроме того, по мере усиления уровня загрязнения в хвое возрастает содержание флавоноидов в 1,5-1,8 раза, катехинов – в 1,9-2,5 раза, проантоцианидинов – в 1,2-1,5 раза. Максимальные их концентрации обнаруживаются в хвое деревьев при сильном уровне загрязнения, при критическом уровне содержание этих фенольных соединений начинает снижаться, однако остается выше фоновых значений в 1,3-1,7 раза. Выявленные количественные перестройки в разных группах фенольных соединений указывают на активное проявление их защитных свойств, направленных на предотвращение окислительного повреждения клеток хвои. Усиленный синтез фенольных соединений в хвое лиственницы, может свидетельствовать о большей устойчивости данного вида к стрессовым воздействиям.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-44-380009.

---

## ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ГЕКСАНОВОЙ ФРАКЦИИ ЭТАНОЛЬНОГО ЭКСТРАКТА *THYMUS CAPITATUS L.*

**Карамова Н.С.<sup>1</sup>, Хабибрахманова В.Р.<sup>2</sup>, Хассан Г.О.О.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, nskaramova@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, venerakhabirakhmanova@gmail.com

<sup>3</sup>Центр исследования пустынь, Каир, Египет, gamal\_micro84@yahoo.com

Все высшие растения синтезируют разнообразные низкомолекулярные соединения вторичного метаболизма, которые вносят существенный вклад в многоэтапный процесс защиты от фитопатогенных микроорганизмов и абиотических стрессов. Фенольные соединения, составляющие одну из самых многочисленных групп по количеству и разнообразию вторичных метаболитов, являются объектом современных исследований в силу разнообразия их биологической активности.

Тимьян головчатый (*Thymus capitatus L.*), семейство Яснотковые (*Lamiaceae*) издавна применяется в народной медицине многих стран для лечения респираторных недугов, сердечно-сосудистых и других заболеваний. Следует отметить, что современные исследования в основном направлены на изучение биологической активности эфирных масел растений данного вида. В то же время, получение органических экстрактов и изучение их компонентного состава представляет собой перспективную базу для создания новых препаратов с антимикробной, антиоксидантной активностью. Известно, что качественный и количественный состав химических веществ растений сильно варьирует в зависимости от места произрастания растений и условия окружающей среды. Следовательно, изучение растений одного вида из различных географических зон актуально как для определения наиболее эффективных источников уже известных эффективных метаболитов, так и для выявления новых соединений, обладающих биологической активностью.

Целью данного исследования явился количественный анализ общего содержания фенольных соединений и суммы флавоноидов в гексановой фракции этанольного экстракта тимьяна головчатого, произрастающего на территории Египта.

В работе использована гексановая фракция этанольного экстракта надземных частей растения тимьян головчатый (*Thymus capitatus L. Hoffmanns & Link*) собранных в западном прибрежном регионе Египта (г. Мерса-Матрух). Суммарное содержание фенольных соединений и флавоноидов в гексановой фракции определяли с использованием спектрометрических методов: Фолина-Чокальтеу в пересчете на галловую кислоту (Sigma-Aldrich) и по реакции комплексообразования с хлоридом алюминия в пересчете на кверцетин (Sigma-Aldrich), соответственно. Данные представляли как мг эквивалента галловой кислоты (GAE) или кверцетина (QE) на 1 г фракции.

Установлено, что исследованный гексановый экстракт этанольного экстракта надземных частей растения тимьян головчатый содержит существенное количество фенольных соединений – 191.13 мг GAE/г сухого вещества. Содержание флавоноидов в эквиваленте кверцетина составило 68.86 мг QE/г сухого вещества. Таким образом, значительная часть фенольных соединений в гексановой фракции *Thymus capitatus L.* представлена флавоноидами.

Дальнейшие экспериментальные исследования, направленные на более точную идентификацию фенольных метаболитов тимьяна головчатого, позволят выявить наиболее перспективные вещества с терапевтическим и профилактическим потенциалом.

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В АДАПТАЦИИ *BEGONIA GRANDIS*

Карпова Е.А., Фершалова Т.Д., Набиева А.Ю., Петрук А.А.

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, karpova@csbg.nsc.ru

Выращивание бегоний в защищенном и открытом грунте в Западной Сибири сопряжено со значительными суточными перепадами температур. Наиболее перспективным растением в этих условиях является *Begonia grandis* Dryander (секция *Diploclinium* (Lindl.) DC.) – единственный представитель рода *Begonia*, обитающий в зоне умеренного климата муссонных провинций Китая и Японских островов. Несмотря на повышенное внимание к роли фенольных соединений (ФС) в адаптации в мировой науке, адаптивные реакции фенольного комплекса *B. grandis* не были изучены. Работы по составу фенольных соединений этого вида единичны и ограничены идентификацией только основных фенольных компонентов – С-гликозилфлавонов и О-гликозидов кверцетина. Методом ВЭЖХ нами подробно изучены адаптивные ответы фенольных комплексов *B. grandis* при понижении суточных температур, в том числе при воздействии индукторов устойчивости растений – экотолов, а также в условиях *in vitro* (Karpova et al., 2020; Karpova et al., 2021).

В результате сравнительного изучения динамических изменений фенольных комплексов *B. grandis* установлено, что адаптивный ответ в каждом варианте условий осуществлялся за счет различных компонентов. Вклад ориентина был наиболее весомым в адаптивной реакции растения на понижение температуры в условиях закрытого грунта. При более существенных колебаниях температуры в открытом грунте происходило многократное возрастание концентраций гиперозида и изокверцитрина. О-гликозиды кверцетина являлись также основной мишенью воздействия экотола из соломы пшеницы, который вызывал существенное повышение их уровня по сравнению с необработанными растениями (в некоторых точках исследования до 1,5 раз). При этом содержание некоторых компонентов, в том числе ориентина, существенно уменьшалось. Эффект экотола из листьев березы был более выраженным. При обработке происходило возрастание концентраций большинства ФС в течение всего периода наблюдений в 1,1–2,5 раза.

Условия культуры *in vitro* являются наиболее стабильными в сравнении с культивированием в открытом и закрытом грунте. Основными неблагоприятными факторами при этом являются осмотический стресс, гормональный дисбаланс, низкий уровень кислорода и высокая относительная влажность. Регенеранты, полученные путем прямого морфогенеза из флоральных эксплантов, характеризовались незначительным уровнем флавоноидов при повышенном содержании органических и фенольных кислот. Такой баланс фенольных соединений в условиях культуры ткани уже был выявлен ранее (Karkonen and Koutaniemi, 2010) и объясняется, скорее всего, относительно невысоким потреблением фенольных кислот в процессе синтеза лигнина и других адаптивных реакций. Таким образом, основными компонентами, осуществляющими адаптацию растений *B. grandis* являются: фенольные кислоты в условиях культуры *in vitro*, ориентин в условиях закрытого грунта, и изокверцитрин в условиях открытого грунта. При этом экотолы повышают адаптивность растений в условиях закрытого и открытого грунта путем увеличения, главным образом, концентраций ориентина и (или) О-гликозидов кверцетина.

### Литература:

1. Karpova E.A., Fershalova T.D., Petruk A.A. Effect of ecotol on cold resistance indices of *Begonia grandis* Dryander // Chemistry for sustainable development. 2020. 5. P. 460–471.
2. Karpova E.A., Nabieva A.Y., Fershalova T.D. Leaf pigments and concentrations of phenolic compound in *Begonia grandis* plantlets obtained from the floral explants // Rendiconti Lincei di Scienze Fisiche e Naturali. 2021. V. 32. P. 921–930. <https://doi.org/10.1007/s12210-021-01034-9>
3. Karkonen A., Koutaniemi S. Lignin biosynthesis studies in plant tissue cultures. J. Integr. Plant Biol. 2010. 52:176185. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.00913x>

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЕКРЕТОРНЫХ СТРУКТУРАХ ЛИСТЬЕВ РОДОДЕНДРОНОВ

Катанская В.М.<sup>1</sup>, Костина О.Н.<sup>2</sup>, Муравник Л.Е.<sup>2</sup>, Загоскина Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, vera@katanski.com

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

Одним из характерных признаков растений сем. *Ericaceae* является опушение побегов, обусловленное наличием как секреторных, так и простых трихом протодермального происхождения. Их морфологические особенности, функциональная дифференциация и характер расположения на поверхности вегетативных и репродуктивных органов являются важным таксономическим признаком, используемым в систематике высших растений.

Трихомы формируются в результате антиклинального деления клеток эпидермы на самых ранних этапах дифференциации листа, что является показателем их высокого адаптивного потенциала. Секрет трихом обладает бактерицидным и фунгицидным действием, обеспечивает защиту фотосинтетического аппарата от действия УФ-Б радиации в том числе за счет высокого содержания фенольных соединений (ФС). Рододендроны (*Rhododendron* L.) - крупнейший род семейства Вересковые, представленный вечнозелеными, полувечнозелеными, листопадными кустарниками и кустарничками. По способу опушения они делятся на три группы: чешуйчатые, клочковато-волосистые и бахромчато-волосистые. Чешуйчатые рододендроны характеризуются наличием на всех частях побегов многоклеточных чешуйчатых или пельтатных трихом. К бахромчато-волосистым относятся, преимущественно, листопадные растения, тогда как клочковато-волосистые представлены вечнозелеными формами. Их побеги, в большинстве случаев, имеют комбинированное опушение, представленное как железистыми, так и простыми волосками различного типа и локализации.

Целью настоящей работы было изучение характера опушения листьев *Rh. smirnowii* и *Rh. ledebourii* и особенностей локализации в них фенольных соединений.

Результаты сканирующей электронной микроскопии показали, что исследуемые виды существенно различались по характеру расположения и морфологическому типу обнаруженных трихом.

У *Rh. smirnowii* адаксиальная сторона листьев имела гладкую кожистую поверхность с небольшим количеством простых извитых волосков. Абаксиальная поверхность характеризовалась наличием густого двухслойного войлочного-белого опушения: первый слой, плотно прилегающий к эпидерме, состоял из простых трихом звездчатой формы, тогда как второй – из длинных извитых бахромчатых волосков.

У *Rh. ledebourii* поверхность листьев была покрыта многочисленными пельтатными трихомами, представляющими собой дисковидные или блюдцевидные головки, опирающиеся на короткую ножку, состоящую из 2-4 клеток. Головки трихом состояли из 25-40 мелких железистых клеток наружного и внутреннего круга.

С помощью флуоресцентной микроскопии и гистохимических реакций (реактив Fast Blue и др.) было показано, что в листьях *Rh. ledebourii* ФС, преимущественно флавоноиды, накапливались во всех клетках головки пельтатных трихом, в эпидерме и клеточных стенках паренхимной обкладки проводящих пучков (проантоцианидины). У вечнозеленого *Rh. smirnowii* простые нежелезистые волоски демонстрировали слабую автофлуоресценцию, свидетельствующую о низком содержании ФС. Установлено накопление этих метаболитов в клетках эпидермы, столбчатого мезофилла, в области проводящих пучков, а также в клетках, формирующих смолоходы.

В результате исследования выявлены особенности морфологии трихом и локализации в них ФС, обусловленные эволюционно сложившимися стратегиями защиты рододендронов различных видов от биотических и абиотических воздействий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).



---

## RESPONSES OF SEED GERMINATION AND PLANTLETS GROWTH OF MAIZE HYBRIDS TO SEED PRETREATMENT WITH REGLALG AND HEAT STRESS

**Caus M., Dascaluic A., Borozan P.\***

Institute of Genetics, Physiology & Plant Protection, IGPPP, 20 Str., Padurii, Chisinau, MD-2002, Moldova,

\*Institute of Crop Science "Porumbeni", Pașcani, Moldova, mcaus2021@yahoo.com

Reglalg is an alcoholic preparation obtained from green algae *Spirogyra* sp. and contains a number of bioactive components, including phenolic substances, such as flavonoids, which have an increased antioxidant capacity. Due to this, utilization of Reglalg induces mechanisms that enhance the resistance of plants to stress factors and accelerate the recovery of damage caused by stress conditions.

In connection with the global warming trend, the areas of critical influence of high temperatures on the growth, development and productivity of plants are expanding. Corn productivity is reduced worldwide due to extreme temperature fluctuations. Different approaches are studied and tested to improve the germination and growth parameters of plants in unfavorable conditions of extreme temperatures. One of the ways to reduce the negative impact of extreme temperatures on seed germination and seedling growth can be the use of natural growth regulators.

The aim of this study was to evaluate the potential of Reglalg preparation to increase germination and seedling growth parameters of maize hybrids under the heat stress (HS) conditions.

HS with a temperature of 50°C for 30 minutes, applied to the seeds of different maize hybrids before germination, contributed to the decrease of the germination and seedling growth parameters. Seed germination was decline after HS application by 45 and 25%, respectively, in P. 374 and P. 427, relatively to the control. Our results showed that HS reduced the growth parameters of seedlings, inhibiting the length of radicles and epicotyls by 34, 5% and 47,3% respectively in the hybrid P. 374 and by 6,4% and 26% in the hybrid P. 427, compared with the control.

Pretreatment of seeds with Reglalg preparation reduced the inhibitory effect of HS on the investigated parameters. The optimal dose of Reglalg (1/200) used to treat hybrid maize seeds before HS application had a beneficial effect on seed germination, increasing this process by 9 and 12%, respectively, in P. 374 and P. 427, relatively to the control of HS without Reglalg seed pretreatment. Also Reglalg influenced favorable growth seedling parameters. The values of growth rate, including radicles length and epicotyls height, in seedlings grown from seeds of high-temperature-resistant maize hybrid P.374, treated with Reglalg and subjected to subsequent exposure to HS, were higher by 9 and 22%, respectively, than those of control variants, with HS, but without Reglalg pretreatment. And for the high temperature sensitive hybrid – P. 427, the application of Reglalg also demonstrated the tendency to increase the growth of seedlings, obtained from seeds that were treated with HS. Due to the use of Reglalg, the length of the radicles and the height of epicotyls did not decrease with HS, the values of these parameters were 1,5 and 3%, respectively, relative to the control of HS without Reglalg.

Thus, the results obtained in this study indicated that pretreatment of maize seeds with Reglalg diluted with water in ratio 1/200, before being exposed to HS proved to be an effective technique for improving germination performance and seedling growth under heat stress conditions.

*Investigations were conducted within the project of the State Program 20.80009.7007.07 "Determining the parameters that characterize the resistance of plants with different levels of organization to the action of extreme temperatures in order to reduce the effects of climate change", funded by the National Agency for Research and Development of the Republic of Moldova.*



## **ВЛИЯНИЕ ЭПИБРАССИНОЛИДА НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СТРЕССА, ОБУСЛОВЛЕННОГО ГЛИФОСАТОМ**

**Кем К.Р., Ламан Н.А.**

ГНУ Институт экспериментальной ботаники им.В.Ф.Купревича НАН Беларуси, Минск,  
kem-666@mail.ru

Ранее в серии экспериментов нами выявлено, что у льна-долгунца, рост корневой системы которого подавлялся глифосатом (ГФ), обработка брассиностероидами в широком диапазоне концентраций приводила к снижению эффекта гербицида, тогда как у ярового ячменя добавление брассиностероидов вело к усилению его ингибирующего эффекта. Известно, что гербицидный эффект глифосата (N-фосфометилглицина) связан с его способностью подавлять активность фермента 5-еноилпирувил-шикимат-3-фосфат-синтазы – одного из ключевых этапов шикиматного пути биосинтеза ароматических соединений: ароматических аминокислот, фенольных соединений, лигнинов, а также ряда других важных метаболитов. Нами было выдвинуто предположение, что внесение ЭБЛ в смеси с ингибирующей дозой глифосата должно отразиться на содержании фенольных соединений (в частности флавоноидов) в тканях растений.

Цель исследования – определить содержание флавоноидов в корнях и надземной части проростков льна-долгунца (сорт Грант) и ярового ячменя (сорт Радзимич), семена которых были инкрустированы смесями глифосата в ингибирующей рост дозе и эпибрасинолида (ЭБЛ) в различных концентрациях.

В предшествующих исследованиях, где проводили измерения длины корневой системы и надземной части проростков льна-долгунца и ярового ячменя, семена которых инкрустировали глифосатом в ингибирующей дозе, а также его смесями с эпибрасинолидом в широком диапазоне концентраций, на графике зависимости доза-эффект были выявлены участки, в которых взаимодействие исследуемых агентов максимально выражено. С учетом этого, для опыта были взяты три концентрации ЭБЛ: до интервала взаимодействия ГФ и ЭБЛ, внутри и после интервала. Они составляли соответственно 1)  $2,0 \cdot 10^{-8}$  М 2)  $1,5 \cdot 10^{-7}$  М 3)  $1,0 \cdot 10^{-6}$  М. Контроль-1 представлял собой вариант с обработкой семян 1%-ным раствором пленкообразователя Гисинар; контроль-2 – глифосат в концентрации  $5,5 \cdot 10^{-2}$  М, подавляющей рост корней на 40-60%. Инкрустацию проводили с расходом рабочего раствора 20 мкл на 1 грамм семян. Проращивание осуществляли методом рулонной культуры. Содержание флавоноидов определяли на 9-ые сутки с использованием хлорида алюминия.

В результате проведенных экспериментов было выявлено, что содержание флавоноидов в корневой системе проростков в контроле-1 составило 1,87% у льна-долгунца и 0,66% у ячменя; в контроле-2 – 0,91% у льна и 0,27% у ячменя, т.е. глифосат, как и следовало ожидать, снижал содержание флавоноидов в 2,0-2,4 раза. В вариантах смесей самое высокое содержание флавоноидов в корнях (относительно контроля-2) выявлено при концентрации ЭБЛ  $1,5 \cdot 10^{-7}$  М (1,40% у льна и 0,50% у ячменя), т.е. в пределах диапазона максимального взаимодействия ЭБЛ и глифосата. Данный вариант у обеих культур достоверно превосходил контроль-2.

Наибольшее содержание флавоноидов в надземной части проростков льна-долгунца также было характерно для варианта с концентрацией ЭБЛ  $1,5 \cdot 10^{-7}$  М, а в опыте с ячменем –  $2,0 \cdot 10^{-8}$  М, однако в этом случае только для льна-долгунца превышение над контрольным вариантом имело статистическую достоверность. Полученные данные свидетельствуют о выраженной стресспротекторной активности эпибрасинолида на проростках льна-долгунца в условиях химического стресса, вызванного глифосатом. Предполагается, что более высокую антистрессовую активность ЭБЛ проявляет в концентрациях, близких к  $1,5 \cdot 10^{-7}$  М.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ШИКИМОВОЙ КСИЛОТЫ В ТКАНЯХ ПРОРОСТКОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛИФОСАТА И ЭПИБРАССИНОЛИДА

Кем К.Р., Ламан Н.А., Копылова Н.А.

ГНУ Институт экспериментальной ботаники им.В.Ф.Купревича НАН Беларуси, Минск,  
kem-666@mail.ru

Шикимовая кислота (ШК) является важнейшим интермедиатом в шикиматном пути биосинтеза ароматических соединений, таких как фенилаланин, тирозин, триптофан, пара-аминобензоат, убихинон, флавоноиды. Известно, что гербицидное действие глифосата (ГФ) основано на подавлении активности фермента 5-еноилпирувил-шикимат-3-фосфат-синтазы, с участием которого осуществляется этап превращения шикимата в хоризмат на одной из стадий этого пути.

В ранее проведенных исследованиях нами выявлено, что в условиях девятидневного лабораторного эксперимента инкрустация семян различных культур эпибрассинолидом (ЭБЛ) на фоне химического стресса, вызванного глифосатом, приводит как к снятию ингибирующего эффекта гербицида (на льне-долгунце), так и к его усилению (на яровом ячмене). Для изучения механизма действия брассиностероидов в этих стрессовых условиях методом ВЭЖХ было определено содержание шикимовой в тканях проростков ярового ячменя и льна-долгунца, выращенных из семян, которые были инкрустированы глифосатом и его смесью с эпибрассинолидом. Контролем служил вариант без обработки.

Анализ содержания шикимовой кислоты произведен с помощью хроматографа UltiMate 3000 (Германия) с колонкой Nucleodur C18 Gravity 4,6×250 мм, размер частиц 5 мкм.

Условия анализа методом ВЭЖХ – подвижная фаза: смесь АЦН : H<sub>2</sub>O, pH 2,8 – 3,0. Линейный градиент: 0-3 мин – 100% H<sub>2</sub>O pH 3; 3-10 мин – 50% АЦН : 50% H<sub>2</sub>O; 10-20 мин – 90% АЦН – 10% H<sub>2</sub>O. Скорость потока 1 мл/мин, температура колонки 30С, объем инъекционной петли – 20 мкл. Концентрацию шикимовой кислоты определяли методом абсолютной калибровки. Калибровочную зависимость определяли по 5 точкам, коэффициент линейной регрессии составил 0,9983.

В результате было установлено, что данные по изменению содержания шикимовой кислоты согласуются и полностью подтверждают закономерности, обнаруженные ранее при изучении биометрических показателей проростков льна-долгунца и ярового ячменя при стрессе, вызванном глифосатом. Так, содержание ШК в листьях льна-долгунца составило в контроле 0,0085 мкг/г сырой массы, в варианте с обработкой глифосатом оно резко возросло до 6,11 мкг/г, а в варианте ГФ+ЭБЛ снизилось в два раза до 3,06 мкг/г. В предшествующих исследованиях уже отмечалось, что добавление ЭБЛ в смесь ослабляет ингибирующий эффект гербицида на рост проростков данной культуры, поэтому зарегистрированное снижение накопления шикимата в варианте со смесью ГФ+ЭБЛ по сравнению с вариантом, где проводилась обработка чистым глифосатом, было предполагаемым.

В опыте с яровым ячменем установлено, что добавление ЭБЛ в смесь с ингибирующей дозой ГФ приводит к повышению содержания шикимовой кислоты в тканях проростков. Фактическое содержание ШК в листьях ярового ячменя составило: 14,97 мкг/г сырой массы в контроле, 15,74 мкг/г в варианте с ГФ и 24,58 мкг/г в варианте ГФ+ЭБЛ. Эти данные также соответствуют ранее выявленной закономерности, выраженной в усилении ингибирующего эффекта гербицида на линейный рост корневой системы и надземной части проростков данной культуры, а также на содержание флавоноидов (К.Р. Кем, Н.А. Ламан, 2021) в тканях при добавлении эпибрассинолида.

---

## СОСТАВ ФЕНОЛОВ, АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И ФИТОПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТОВ ЧАГИ И ГАНОДЕРМЫ

Киселёва И.С., Ермошин А.А., Галишев Б.А.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им.Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
Irina.Kiseleva@urfu.ru

Химический состав фенолов растений, а также их аллелопатические взаимоотношения достаточно хорошо изучены. В гораздо меньшей степени изучен состав плодовых тел грибов. В традиционной и официальной медицине широко используется чага (*Inonotus obliquus*), действующими веществами которой являются фенольные соединения меланины. Они способны гасить активные формы кислорода и хелатировать ионы тяжелых металлов.

В азиатской медицине используется гриб рейши, или ганодерма блестящая. Данный вид в нашей стране практически не встречается и занесен в красные книги, однако широко распространен родственный вид – ганодерма плоская (*Ganoderma applanatum*).

Цель нашей работы – охарактеризовать содержание фенольных соединений и их качественный состав (методом HPLC-MS) в плодовых телах грибов, а также изучить действие экстрактов из них на проростки ячменя (длину корней и стебля, содержание фотосинтетических пигментов) в присутствии ионов кадмия.

В экстракте чаге содержание фенольных соединений составило  $18,0 \pm 0,2$  мг/г сухой массы, а в ганодерме плоской –  $6,0 \pm 0,1$  мг/г. Полученные данные согласуются с тем, что группой действующих веществ в ганодерме являются тритерпены, а не фенолы. Изучение качественного состава фенольных соединений показало наличие как общих фенольных соединений, так и тех, которые встречались только у одного вида. Общими для обоих грибов является наличие в плодовых телах флороглюцина и ванилиновой кислоты. Только в чаге обнаружены катехин и сиреневая кислота, только в ганодерме р-кумаровая и салициловая кислоты. Известно, что Р-кумаровая кислота является мощным антиоксидантом, а салициловая кислота обладает фитогормональной и стресс-протекторной активностью. Это может объяснить обнаруженное нами стресс-протекторное действие экстракта ганодермы, несмотря на низкое содержание в ней фенолов. В обоих видов грибов не были обнаружены рутин, кверцетин, ресвератрол, галловая и феруловая кислоты

Показано, что добавление экстракта грибов из расчета 1 мг/мл сухой массы плодовых тел не действовало на прорастание семян и линейные размеры проростков. Экстракт чаги вызывал небольшое достоверное снижение содержания фотосинтетических пигментов в проростке, что может быть связано с очень высоким содержанием меланинов в ней, тогда как экстракт ганодермы не оказывал ингибирующего воздействия. Добавление 250 мкМ ионов кадмия в среду культивирования ингибировало рост проростков и накопление пигментов. При совместном внесении в среду кадмия и экстрактов происходило снижение токсического эффекта кадмия на растения ячменя. Линейные размеры растений были достоверно больше, чем в присутствии только кадмия, а содержание пигментов достигало уровня контроля. Мы предполагаем, что такой эффект связан с наличием в экстрактах значительных количеств фенольных соединений.

Таким образом, экстракт обоих видов грибов может быть рекомендован как нетоксичное для растений средство, снижающее токсичность тяжелых металлов.

---

## RESEARCH OF FLAVONOID CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE EXTRACT OF *FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH

Klykov A.G., Borovaya S.A., Murugova G.A., Timoshinova O.A., Chaikina E.L.\*,  
Chingizova E.A.\*

Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki,  
Ussuriysk, alex.klykov@mail.ru

\*G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of the RAS,  
chaykin.dima@yandex.ru

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is a plant with a high ability to form secondary metabolites related to flavonoid compounds, including rutin, which has antioxidant, angioprotective, antibacterial, and hepatoprotective properties. Thus, buckwheat can be considered as a promising source of biologically active substances (BAS). The use of *F. esculentum* for medicinal and health purposes requires that the content of rutin be as high as possible. At the same time, the flavonoids isolated from buckwheat can be an alternative to the use of synthetic biostimulants in agriculture, but this issue has not been practically studied.

The aim of this study was to study the antioxidant and phytostimulating activity of extracts obtained from the aboveground mass of *F. esculentum* with different stem colors, as well as to evaluate the effect of extracts on the accumulation of flavonoid compounds in buckwheat fruits grown in the Primorsky Krai (Russia).

The effect of *F. esculentum* extracts with different stem colors on the content of flavonoids in buckwheat fruits was evaluated using the extract in concentrations of 1, 10, and 100 µg/ml. The aboveground mass of buckwheat plants of *F. esculentum* with different color of stems (green, green-red, red-green, red) of the varieties Izumrud and Pri 7, grown in the fields of the Primorsky Krai, was collected in the flowering phase, dried in a darkened, well-ventilated room, then crushed, filled with 70% water solution of ethanol, boiled for 1 hour. After that, the solvent was removed at reduced pressure and a dry BAS residue was obtained. The antioxidant activity of the extracts was measured spectrophotometrically using a stable free radical 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazide (DPPH; C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>N<sub>5</sub>O<sub>6</sub>, M = 394.33). Definition of flavonoid amount in vegetative organs of the plants was carried out using spectrophotometric method developed by M.N. Zaprometov in the G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

In search of BAS natural sources, for cultivated plants stimulation, the content of flavonoids in the aboveground mass of buckwheat varieties Izumrud and Pri 7, collected during the period of mass flowering - maturation, was evaluated. Colour of flowers, stems, leaves, seeds of *Fagopyrum esculentum* are important and interesting features from genetic and biological point of view. The results of the studies showed that plants of both varieties with a red color of the stem and branches contain more flavonoids (3%), compared to plants with a green color. Plants of *F. esculentum* varieties Pri 7 and Izumrud with a red stem color and, accordingly, with a high content of flavonoids, have the greatest antioxidant activity, which decreases with a decrease in the intensity of anthocyanin color. Buckwheat extracts have high antioxidant activity, varying depending on the concentration in the range of 19.8-99.4%, and also have a positive effect on the *F. esculentum* root formation. The highest content of flavonoids in buckwheat fruits in the Izumrud variety (0.20-0.22 %), significantly exceeding the control parameters, was found in the variant with the treatment of crops with an extract obtained from *F. esculentum* plants with red stems, in the range of all studied concentrations (1-100 µg/ml). Buckwheat extracts can be used in agriculture as phyto regulators of cultivated plants, contributing to an increase in the roots growth potential and the accumulation of flavonoid compounds in buckwheat fruits, and it is also possible to recommend them as an effective antioxidant. The use of *F. esculentum* extracts, obtained from plants with red and red-green stem color, as natural chemicals is a promising direction in organic agriculture.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ АНТОЦИАНОВ В РАСТЕНИЯХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И МЕТИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ

**Коваль Е.В., Огородникова С.Ю.\***

ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, Тюмень,

\*ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, undina2-10@yandex.ru

В природе насчитывается свыше 500 антоцианов, являющихся гликозилированной формой гидрокси- и метоксизамещенных производных 2-фенилхромена. Они обнаружены во всех органах растения, при этом в условиях стресса уровень пигментов возрастает. Антоцианы, обладая способностью непосредственно нейтрализовать активные формы кислорода, образующиеся вследствие фотосинтетических процессов в хлоропластах, по типу, сходному с каротиноидами, также являются клеточными антиоксидантами. Цианобактерии (ЦБ) обладают ростостимулирующей активностью, а также оказывают фитопротекторное действие в условиях химического загрязнения. Целью работы было выявление особенностей накопления антоцианов в листьях ячменя (*Hordeum distichon* L.) под действием ЦБ (*Nostoc linckia*, *N. muscorum*) и фосфорорганического ксенобиотика – метилфосфоновой кислоты (МФК).

Семена ячменя проращивали в присутствии культур ЦБ и без них, проростки пересаживали в сосуды с питательным раствором Кнопа (контроль) и растворами МФК ( $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л). В фазу двух листьев определяли содержание антоцианов, каротиноидов, интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) по содержанию малонового диальдегида (МДА).

Обработка семян ЦБ вызывала снижение накопления антоцианов и возрастание содержания каротиноидов в листьях ячменя. В варианте с инокуляцией семян *N. muscorum* отмечали максимальное (в 2,3 раза по сравнению с контролем) накопление низкомолекулярных антиоксидантов – каротиноидов и значительное снижение уровня МДА. Интенсивность процессов ПОЛ в корнях проростков, выращенных в присутствии ЦБ, также снижалась.

МФК вызывала снижение интенсивности процессов ПОЛ в корнях и листьях ячменя, с ростом концентрации МФК, уменьшалось количество МДА. Выявлена тесная обратная корреляция между интенсивностью процессов ПОЛ и накоплением антоцианов и каротиноидов в листьях ячменя, выращенного в присутствии МФК. При совместном действии МФК и ЦБ отмечали разнонаправленные ответные реакции. В варианте с совместным действием *N. linckia* и МФК отмечали рост содержания антоцианов, по сравнению с действием МФК, содержание каротиноидов, напротив, снижалось. Аналогичные эффекты отмечали в опытах с *N. muscorum*: на фоне снижения уровня антоцианов при действии ЦБ и МФК ( $5 \cdot 10^{-5}$  моль/л) возрастало содержание каротиноидов, однако, МФК в высокой концентрации ( $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л) индуцировала увеличение количества каротиноидов и антоцианов в обработанных ЦБ проростках. В данном варианте опыта уровень МДА в корнях ячменя был в 2 раза выше, по сравнению с контролем.

Таким образом, ЦБ обработка семян ячменя оказывала влияние на накопление веществ с антиоксидантными свойствами (каротиноидов и антоцианов) и МДА. Изменение интенсивности окислительных процессов в растительных клетках, по-видимому, происходит под влиянием биологически активных фенольных соединений (фенилпропаноиды и флавоноиды), которые синтезируются ЦБ. В условиях загрязнения среды МФК ведущую роль в антиоксидантной защите принимали антоцианы, уровень которых значительно возрастал. Предварительная инокуляция ЦБ усиливала накопление антоцианов в растениях ячменя, выращенных в присутствии МФК. Наиболее эффективной при защите растений в условиях стресса оказалась ЦБ *N. muscorum*.



## РЕДОКС-СВОЙСТВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ВЕЩЕСТВА

Красикова А.А., Хвиузов С.С., Гусакова М.А., Боголицын К.Г.\*

ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск, ann.krasikova@gmail.com

\*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск

Образование макромолекул лигнина в растении (лигнификация) представляет собой систему сложных биохимических и химических процессов, механизм реализации которых до конца не изучен [1]. Присутствие в лигноуглеводной древесной матрице фенольных и хинонных структур, изменение их соотношения в процессе жизнедеятельности растения приводит к изменению редокс-состояния не только лигнинной составляющей древесного вещества, но и растения как целостной системы. Одним из основных компонентов фенол-хиноидной окислительно-восстановительной системы является фракция фенольных соединений. Интерес представляет изучение первичных актов редокс-процессов формирования древесного вещества на начальных этапах онтогенеза растений. При этом, о редокс-состоянии лигноуглеводной матрицы можно судить как по характеру накопления и расходования в процессе биосинтеза мономерных фенолов и лигнина, так и ферментативной активности [2]. В качестве объекта исследования были выбраны семена сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., как одной из самых распространённых древесных пород.

В процессе жизненного цикла растений происходит функциональная трансформация компонентов растительной ткани, главным образом, фенольных соединений, наиболее реакционноспособных в редокс-взаимодействиях. Редокс-состояние древесной матрицы характеризуется наличием системы несопряженных и, формирующихся при их окислении, сопряженных фенольных форм. Основными мономерными предшественниками лигнина являются несопряженные фенольные соединения – *n*-гидроксикоричные спирты. Их окисление с образованием сопряженных фенольных единиц, и, как следствие, изменение соотношения несопряженных/сопряженных фенольных соединений приводит к значительному изменению редокс-состояния древесного вещества. С целью изучения протекания окислительных процессов в растительных тканях проведена количественная оценка изменения относительного содержания несопряженных и сопряженных фенольных соединений методом производной и дифференциальной УФ спектроскопии. Отмечено относительное преобладание несопряженных структур на протяжении всего годичного цикла. Увеличение доли сопряженных фенольных форм в зимний период свидетельствует о наличии окислительных процессов при низкотемпературном воздействии, что отражается на «хвое» растений. В стволовой части наблюдается увеличение содержания сопряженных фенолов при вынесении на площадку закаливания и значительное их снижение – в осенне-зимний период, обусловленное расходом в полимеризационных процессах несопряженных форм. Таким образом, проведённые исследования позволили получить новые данные, подтверждающие определяющую роль редокс-превращений монолигнолов в ферментативной лигнификации растительной матрицы.

*Исследования проведены в рамках госзадания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН 2022-2024 г. «Физико-химические основы селективных методов выделения, характеристики и применение биологически активных комплексов растительных объектов высоких широт для решения задач экологического контроля и здоровьесбережения» (№122011700252-1) с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).*

### Литература:

1. Фенольные соединения хвойных деревьев в условиях стресса / И. Л. Фуксман, Л. Л. Новицкая, В. А. Исидоров [и др.] // Лесоведение. – 2005. – № 3. – С. 4-10.
2. The cell biology of lignification in higher plants / J. Barros-Rios, H. Serk, I. Granlund [et al.] // Annals of botany. – 2015. – Vol. 7. – P. 1053-1074.



---

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ ГИДРОЛИЗУЕМЫХ ТАННИНОВ В ЛИСТЬЯХ *CORNUS SERICEA*, *CORNUS SANGUINEA* И *CORNUS ALBA*

Кроль Т.А., Аксёнов А.А., Балеев Д.Н., Осипов В.И.

ФГБНУ Всероссийский институт лекарственных и ароматических растений, Москва,  
tatianakroll1@gmail.com

Гидролизуемые танины (ГТ) – это класс фенольных соединений, которые широко распространены в растительном мире. Структурно они подразделяются на три подкласса: галлоил-глюкозы, галлотаннины и эллаготаннины. Галлоил-глюкозы содержат пять или менее галлоильных групп, соединенных сложноэфирной связью с углеводным ядром. Галлоил-глюкозы, которые содержат шесть или более галлоильных или дигаллоильных групп, классифицируют как галлотаннины. При взаимодействии галлоильных групп галлоил-глюкоз или галлотаннинов образуются сложные эфиры гексагидроксидифеноила (ГГДФ) и глюкозы или эллаготаннины. Структурное разнообразие эллаготаннинов увеличивается за счет олигомеризации мономеров, раскрытия полиольного ядра глюкозы, а также реакций окисления или гидратации ГГДФ групп. ГТ и особенно эллаготаннины обладают высокой биологической активностью.

Ранее, при сравнительном изучении содержания основных классов фенольных соединений в листьях 200 видов лекарственных растений, было установлено, что виды рода *Cornus* характеризуются наибольшим содержанием ГТ. Основной целью данного исследования было изучение состава и содержания ГТ в листьях *Cornus sericea* L., *Cornus sanguinea* L., *Cornus alba* L. с использованием ультра-эффективной жидкостной хроматографии в комбинации с диодным и масс-спектрометрическим детектором высокого разрешения (УЭЖХ-ДД-МСВР).

В результате, в листьях трех видов *Cornus* были обнаружены 27 соединений, принадлежащие классу ГТ. Среди них были идентифицированы 4 галлоил-глюкозы: моногаллоил- (моноизотопная масса 332.0743 Да), дигаллоил- (484.0853 Да) и тригаллоил-глюкозы (636.0963 Да) и 23 эллаготаннина, которые были представлены мономерами, димерами и тримерами с моноизотопной массой от 634.0806 до 2354.2334 Да. Среди них идентифицированы гемин D, теллимаграндин I, энотеин B, камптотин A, корнусин A, C, D, F и их изомеры. Показано, что максимальное содержание эллаготаннинов обнаружено в *C. alba* (15,5 мг/г) и *C. sericea* (14,7 мг/г). При этом в *C. sanguinea* накапливалось в 3-4 раза меньше эллаготаннинов по сравнению с другими видами. Содержание галлоил-глюкоз составляло 26,9-27,6 мг/г в зависимости от изучаемого вида и не имело значимых межвидовых различий. Таким образом, проведен сравнительный анализ состава и содержания ГТ в листьях трех видов рода *Cornus*. Установлено, что исследованные виды не отличаются по составу ГТ, но содержание индивидуальных соединений имеет ярко выраженные видовые особенности. Показано, что изученные виды являются перспективными источниками биологически активных эллаготаннинов. В дальнейшем исследование будет направлено на выделение и очистку индивидуальных эллаготаннинов, изучение их структуры и оценку биологической активности.

---

## РЕГУЛЯЦИЯ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ В ОКРАШЕННЫХ СЕМЕНАХ *VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.

Крылова Е.А., Михайлова А.С.

ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,  
Санкт-Петербург, e.krylova@vir.nw.ru

Здоровый образ жизни и правильное питание являются одним из главных трендов развития современного общества. При употреблении продуктов, богатых антиоксидантами, значительно уменьшаются риски развития сердечно-сосудистых, онкологических и возрастных нейродегенеративных заболеваний. Сорты вигны *Vigna unguiculata* (L.) Walp. с окрашенными семенами и бобами имеют большой потенциал как продукты, оказывающие положительный эффект на здоровье человека. В настоящее время известно, что регуляция экспрессии структурных генов биосинтеза флавоноидов осуществляется комплексом MBW, который образуют транскрипционные факторы, относящиеся к семействам R2R3-Myb, bHLH-Myc и WDR. Однако информации о механизмах регуляции биосинтеза антоцианов у вигны пока недостаточно.

Материалом для исследования послужили образцы с различной окраской семян из коллекции вигны ВИР. С использованием методов *in silico* анализа и современных молекулярно-генетических подходов охарактеризованы особенности организации регуляторных генов биосинтеза антоцианов. По результатам *in silico* анализа было показано наличие у гена *Myb* двух консервативных функциональных доменов, которые являются характерными для семейства генов *R2R3-Myb*. У образцов с черными семенами последовательности гена *Myb* весьма консервативны, по крайней мере в области отжига праймеров, тогда как не у всех образцов без антоцианов (белые, бежевые, вишневые семена) наблюдались ПЦР-продукты с праймерами к разным участкам гена *Myb*. Результаты ресеквенирования подтвердили консервативность *Myb* у всех изученных образцов с различной окраской семян. У некоторых образцов с безантоциановыми семенами, но с амплификацией *MYB* и консервативными нуклеотидными последовательностями, отсутствие синтеза антоцианов, вероятно, связано с дефектом гена, кодирующего другой транскрипционный фактор – bHLH-MYC. Полученные результаты будут являться основой для дальнейшей ускоренной селекции сортов *Vigna unguiculata* с повышенной диетической и пищевой ценностью.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 15Н 0481-2022-0007.*

---

## ВЛИЯНИЕ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА ЛИГНИФИКАЦИЮ КОРНЕЙ ПШЕНИЦЫ НА ФОНЕ ЗАСОЛЕНИЯ

Кудоярова Г.Р., Архипова Т.Н., Ахтямова З.А., Галин И.Р., Мартыненко Е.В.

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, guzel@anrb.ru

Отложение в клеточных стенках лигнина, являющегося полимерным фенольным соединением, создает барьеры для потоков ионов и воды по апопласту, позволяя контролировать их транспорт с помощью локализованных в мембранах переносчиков. Формирование содержащих лигнин поясков Каспари в эндо- и экзодерме корней считается одним из механизмов повышения устойчивости растений к засолению. Известно, что некоторые виды и штаммы ризосферных бактерий повышают солеустойчивость растений, а механизм их действия на растения интенсивно изучаются. Тем не менее, в литературе отсутствуют сведения о влиянии бактерий на отложение лигнина в области поясков Каспари.

Нами было изучено влияние ризобактерий *Bacillus subtilis* IB-22 и *Pseudomonas mandelii* IB-Ki14 на растения пшеницы, которые выращивали в песчаной культуре на среде Хогланда-Арнона без NaCl и с добавлением соли до концентрации 100 мМ. Инокуляцию проводили путем полива песчаного субстрата суспензией бактерий. Для визуализации лигнина на поперечных срезах из сегментов базальной части корней использовали гемисульфат берберина. Флуоресценцию берберина возбуждали твердотельным лазером при длине волны 488 нм и регистрировали эмиссию при 520 нм на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Olympus FluoView FV3000. Для выделения гормонов из культуральной среды бактерий и из растений применяли модифицированный метод экстракции, обеспечивающий надежность результатов последующего твердофазного иммуноферментного анализа.

Засоление тормозило рост растений, а бактерии стимулировали его как в присутствии NaCl, так и в отсутствие соли. Наибольший рост стимулирующий эффект был зарегистрирован под влиянием *Bacillus subtilis* IB-22. При этом как засоление, так и бактериальная обработка ускоряли и усиливали отложение лигнина в области эндодермы и экзодермы корней. Наиболее быстрое и интенсивное формирование поясков Каспари было зарегистрировано на фоне инокуляции *Pseudomonas mandelii* IB-Ki14. Мы полагаем, что стимулом в этом случае могли послужить ауксины, синтезируемые этими бактериями, а также повышение под их влиянием уровня ауксинов в корнях растений, поскольку Ursache с соавторами (2021) было выявлено влияние этих гормонов на метаболизм компонентов поясков Каспари. Влияние *Bacillus subtilis* IB-22 на отложение лигнина и формирование поясков Каспари было менее выраженным, но, тем не менее, они оказывали больший рост стимулирующий эффект, что можно было объяснить их положительным влиянием на поглощение калия и фосфора растением. Повышенный уровень калия у растений, инокулированных бациллами, может быть обусловлен способностью *Bacillus subtilis* IB-22 продуцировать цитокинины и повышать уровень этих гормонов в растениях. Это предположение соответствует сведениям из статьи Ghanem с соавторами (2010), где было показано повышение уровня калия у растений томатов на фоне засоления под влиянием экспрессии *ipt*-гена, контролирующего накопление цитокининов. Большой рост стимулирующий эффект бацилл по сравнению с псевдомонадами свидетельствует о том, что поддержание поглощения калия на фоне засоления может быть более важно, чем ограничение притока токсичных ионов натрия. Тем не менее, ограничение потоков ионов по апопласту за счет отложения лигнина играет важную роль, повышая значение контролируемого трансмембранного переноса ионов, а полученные нами результаты свидетельствуют о способности бактерий усиливать лигнификацию и тем самым повышать солеустойчивость растений.

Грант РФН 21-14-00070

Литература:

1. Ghanem et al. J. Exp. Bot. 2011, 62, 125–140. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq266>
2. Ursache et al. Plants 2021, 7, <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00862-9>

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАПУСТЫ В СВЯЗИ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ЛИСТОГРЫЗУЩИМ ВРЕДИТЕЛЯМ

Курина А.Б., Соловьева А.Е., Артемьева А.М.

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И.Вавилова (ВИР),  
Санкт-Петербург, nastya\_n11@mail.ru

Большинство вторичных метаболитов выполняет функции конститутивных, полуиндуцибельных или индуцибельных защитных соединений, в том числе и фенольные соединения. Фенольные соединения демонстрируют большое структурное разнообразие и имеют различные функции во взаимодействии растений и листогрызущих вредителей.

Цель нашего исследования заключалась в изучении особенностей накопления фенольных соединений в образцах вида *Brassica rapa* L. с разной устойчивостью к листогрызущим вредителям. Материал для изучения включал 40 образцов пяти листовых капустных культур, листовой и корнеплодной репы *B. rapa*. Изучение степени устойчивости / восприимчивости к повреждению распространенными вредителями капустной молью и капустной совкой проводилось в естественных контрастных климатических условиях филиала Полярной ОС ВИР (Мурманская обл.), Пушкинских лабораторий ВИР (Санкт-Петербург), филиала Майкопская ОС ВИР (Республика Адыгея) по методике ФГБНУ ВИЗР и при искусственном заражении вредителями в тепличных условиях Пушкинских лабораторий ВИР по методике РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Состав фенольных соединений определяли методом газо-жидкостной хроматографией с масс-спектрометрией.

В результате проведенных исследований идентифицировано 11 фенольных соединений различной природы: оксibenзойные кислоты, фенилпропаноиды, ациклические фенольные соединения, витамины В<sub>3</sub> и Е. Высокое содержание никотиновой кислоты выявлено в образцах с Полярной ОС, а протокатеховой при искусственном заражении совкой и в Майкопе. Содержание хинной кислоты было самым высоким в растениях с Майкопской ОС и заметно ниже в растениях из Пушкина и подвергнутых искусственному заражению капустной молью. Содержание  $\alpha$ -циано-4-гидроксикоричной и кофейной кислот было высоким у растений с Полярной ОС, у образцов, выращенных в других условиях, было низким. Содержание неохлорогеновой кислоты было высоким в образцах с Полярной ОС и Пушкина. Содержание остальных фенольных соединений слабо различалось в разных условиях выращивания и между образцами.

Между степенью поражения вредителями растений и содержанием фенольных соединений найден ряд корреляций. Выявлена отрицательная связь между содержанием  $\alpha$ -циано-4-гидроксикоричной кислоты и искусственным заражением совкой ( $r=-0,39$ ,  $p\leq 0,05$ ), содержанием хинной кислоты и степенью поражения совкой на Майкопской ОС ( $r=-0,37$ ,  $p\leq 0,05$ ), и положительная между содержанием протокатеховой кислоты и степенью поражения совкой в Пушкине ( $r=0,42$ ,  $p\leq 0,05$ ), и содержанием бензойной кислоты и степенью поражения капустной молью на Майкопской ОС ( $r=0,37$ ,  $p\leq 0,05$ ) и Полярной ОС ( $r=0,66$ ,  $p\leq 0,05$ ). В среднем выявлены отрицательные корреляции между поражением капустной молью и содержанием никотиновой кислоты ( $r=-0,39$ ,  $p\leq 0,05$ ) и  $\alpha$ -циано-4-гидроксикоричной кислоты ( $r=-0,28$ ,  $p\leq 0,05$ ), а также поражением совкой и содержанием хинной кислоты ( $r=-0,34$ ,  $p\leq 0,05$ ). Таким образом, мы можем предположить, что увеличение содержания в образцах никотиновой, хинной и  $\alpha$ -циано-4-гидроксикоричной кислот увеличивало их устойчивость вредителям.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Немецкого научно-исследовательского сообщества в рамках научного проекта № 21-516-120001.

---

## БАКТЕРИАЛЬНОЕ БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БИОЧАРА СНИЖАЕТ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС И ПОВЫШАЕТ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ У *BRASSICA OLERACEA* ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕДИ

Кумар А., Ширяев Г.И., Малева М.Г., Борисова Г.Г., Трипти, Давыдова Д.К.  
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
adarsh.biorem@gmail.com

Медь является одним из самых распространённых тяжёлых металлов, загрязняющих окружающую среду. В повышенных концентрациях она высокотоксична и способна вызывать значительные нарушения в метаболизме растений. Для снижения токсического действия меди на растения могут использоваться бактериальные биоудобрения (ББУ) на основе биочара. Биочар – богатый углеродом материал, получаемый путем пиролиза, он улучшает структуру почвы, ее влагоемкость и в целом положительно влияет на рост растений. Пористый материал биочара может служить средой для развития микроорганизмов, многие из которых являются металлоторолерантными. Цель исследования – изучить влияние биоудобрения на основе биочара, инокулированного металлоторолерантными ризобактериями *Bacillus* sp., на уровень окислительного стресса у *Brassica oleracea* (капуста белокочанная, сорт Экспресс F1) и содержание фенольных соединений при действии меди.

Эксперимент включал следующие варианты: 1 – контроль (почвенный субстрат); 2 – субстрат + ББУ (19:1, по объему); 3 – субстрат + 100 мг/кг Cu; 4 – субстрат + ББУ (19:1, по объему) + 100 мг/кг Cu. Содержание бактерий в ББУ составляло  $10^8$  КОЕ/кг почвы. Медь вносили в почву в виде раствора  $\text{CuSO}_4$ . Содержание Cu в побегах и корнях определяли на атомно-абсорбционном спектрометре после мокрого озоления 70%  $\text{HNO}_3$ . Биохимические параметры измеряли спектрофотометрически на 30-й день вегетации. Содержание малонового диальдегида (МДА) определяли в растворе 0,25% тиобарбитуровой и 10% трихлоруксусной кислот при длинах волн 532 и 600 нм. Общее содержание растворимых фенольных соединений определяли при 725 нм после реакции с 0,1 н реактивом Фолина-Чокальтеу. Содержание флавоноидов определяли при 420 нм после реакции с 10% раствором  $\text{AlCl}_3$ .

Исследование показало, что при раздельном добавлении меди ее содержание в корнях *B. oleracea* увеличивалось в 3,5 раза, а в побегах – в 2,5 раза по сравнению с контролем. При внесении меди совместно с ББУ ее накопление в корнях по сравнению с контролем было выше лишь на 40%, тогда как в побегах оставалось на уровне контроля.

Тяжёлые металлы могут вызывать у растений окислительный стресс из-за генерации активных форм кислорода. Основным продуктом окисления липидов является МДА, который используют как показатель уровня окислительного стресса. Содержание МДА в листьях увеличивалось на 30% только при добавлении меди без ББУ. Фенольные соединения являются антиоксидантами, играющими важную роль в поддержании устойчивости растений к окислительному стрессу. Однако достоверное увеличение содержания растворимых фенолов (на 15% по сравнению с контролем) происходило только при совместном добавлении ББУ и меди. При этом во всех вариантах опыта было обнаружено существенное увеличение содержания флавоноидов, как при отдельном действии меди (на 21%), так и при внесении ББУ (на 43%). Однако наибольший эффект оказывало совместное действие ББУ и меди – содержание флавоноидов возрастало в 1,6 раза. Причем доля флавоноидов от общего количества растворимых фенольных соединений также увеличивалась (в среднем на 7%).

Таким образом, добавление меди вызывало у *B. oleracea* окислительный стресс, который снижался при использовании ББУ. Биоудобрение при совместном внесении с медью стимулировало синтез фенольных соединений, особенно флавоноидов. Это позволяет заключить, что внесение биоудобрения может значительно увеличивать устойчивость растений к действию тяжелых металлов.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 21-76-00011,  
<https://rscf.ru/project/21-76-00011>.



## ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В *AMOMUM LONGILIGULARE* T.L.WU И *AMOMUM TSAO-KO* CREVOST & LEMARIÉ, СОБРАННЫХ ВО ВЬЕТНАМЕ

Кухат К.В., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н.

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева,  
Москва, [khuatquyetst@gmail.com](mailto:khuatquyetst@gmail.com)

Фенольные соединения являются важнейшей составляющей частью растительных объектов. Эти соединения обладают выдающейся биологической активностью, оказывают положительное влияние на здоровье человека, например, являются антиоксидантами, предотвращают образование одномолекулярных кислородных радикалов, контролируют пролиферацию раковых клеток и т. д. (Ali and Neda, 2011). *Amomum longiligulare* T.L. Wu и *Amomum tsao-ko* Crevost & Lemarie (кардамон) - лекарственные растения, имеют ареал распространения от китайского острова Hainan до центрального Вьетнама. Проведенные исследования показали, что вторичные метаболиты кардамона оказывают высокое положительное влияние на здоровье человека.

Цель исследования - определение общего содержания фенольных соединений в различных органах *Amomum longiligulare* T.L. Wu. и *Amomum tsao-ko* Crevost & Lemarie.

Объектом исследования служили целые растения *A. longiligulare* и *A. tsao-ko* (включая листья, псевдостебли, корневища, корни и спелые коробочки). Растения *A. longiligulare* были собраны в лесу на скалистой горе в деревне Lang Cung, коммуна Dao Duc, район Vi Xuyen, провинция Ha Giang, а растения и *A. tsao-ko* - в кардамоновом лесу в деревне Sin Cau, коммуна Giang Ma, уезд Tam Duong, провинция Lai Chau, Вьетнам.

После сбора растительный материал был доставлен в Ботаническую лабораторию Ханойского педагогического университета № 2, где была проведена очистка растений от загрязнений, последующая сушка материала и измельчение в порошок с применением жидкого азота. Полученный материал пакетировали, после чего были доставлены на кафедру биотехнологии РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, где их хранили при комнатной температуре (27-28°C) в эксикаторе в течение 24 часов.

Растительные экстракты получали путем экстракции порошка листьев, псевдостеблей, корневищ, корней и семян 96% холодным этанолом в течение 5 мин. Суммарное содержание фенольных соединений (ССФС) проводили с использованием реактива Фолина-Чокальтеу (10%). Оптическую плотность (OD) определяли при 765 нм с помощью спектрофотометра UV-Vis. Калибровочную кривую строили по галловой кислоте. Общее количество фенольных соединений измеряли в эквивалентах галловой кислоты по стандартной кривой ( $Y=0.0141X-0.0078$  и  $r^2=0.9975$ ) (мкг эквивалента галловой кислоты GAE/мг экстракта) (Ainsworth & Gillespie, 2007).

В результате проведенных исследований установлено, что в исследуемых органах *A. longiligulare* и *A. tsao-ko* суммарное содержание фенольных соединений различно. Так, самое высокое ССФС было отмечено в экстрактах, полученных из семян. Для *A. longiligulare* этот показатель составил  $4.30 \pm 0.03$  мкг GAE/мг, а для *A. tsao-ko* -  $2.91 \pm 0.02$  мкг GAE/мг. Самое низкое содержание ССФС было зарегистрировано в экстрактах, полученных из корневищ и корней. Для *A. longiligulare* этот показатель составил  $1.63 \pm 0.01$  мкг GAE/мг, а для *A. tsao-ko* -  $1.21 \pm 0.01$  мкг GAE/мг. Экстракты, полученные из листьев и псевдостеблей занимали промежуточное положение. В этих экстрактах ССФС у *A. longiligulare* составило  $2.43 \pm 0.02$  мкг GAE/мг и  $1.80 \pm 0.01$  мкг GAE/мг, соответственно, а для *A. tsao-ko* -  $2.67 \pm 0.02$  мкг GAE/мг и  $1.51 \pm 0.01$  мкг GAE/мг, соответственно. Полученные данные согласуются с результатами других авторов, работающих с самыми распространенными во Вьетнаме растениями – кардамон (*Elettaria cardamomum* L.) и имбирь (*Zingiber officinale* Rosc.).



## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ТРАНСГЕННЫХ ПО ГЕНУ *FE-SOD1* РАСТЕНИЯХ ТАБАКА: ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Лапшин П.В.<sup>1</sup>, Николаева Т.Н.<sup>1</sup>, Нечаева Т.Л.<sup>1</sup>, Кононенко Н.В.<sup>2</sup>  
Куренина Л.В.<sup>2</sup>, Баранова Е.Н.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, p.lapshin@mail.ru

<sup>2</sup>ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, greenpro2007@rambler.ru

<sup>3</sup>Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва

Процессы адаптации и устойчивости растений к действию различных экологических факторов, в том числе низкотемпературному стрессу, в значительной степени зависят от функционирования в них антиоксидантной системы, которая защищает клетки от токсического действия активных форм кислорода (АФК). Использование различных методических подходов, в том числе «создания» трансгенных растений с экспрессией генов антиоксидантной защиты, позволяет исследовать механизмы, регулирующие эти процессы.

Супероксиддисмутаза (СОД, SOD) это фермент предотвращающий начальные этапы развития окислительного стресса в клетках растений. Известно несколько изоформ СОД, отличающихся по входящему в состав активного центра фермента металлу ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ ), и по их локализации в субклеточных компартментах. Ранее было показано, что введение генов СОД в некоторые виды растений, повышало их устойчивость к действию стрессовых факторов.

К числу метаболитов, которым отводится важная роль в процессах адаптации растений к стрессовым воздействиям, относятся фенольные соединения (ФС) – одни из наиболее распространенных вторичных метаболитов растительного происхождения. Для них характерна высокая способность к взаимодействию с АФК, количество которых возрастает в этих условиях. Отмечается и чрезвычайно разнообразная функциональная роль ФС, которая связана с процессами роста и развития растений, фотосинтезом, дыханием, адаптации к действию стресс-факторов (патогены, мутагены, действие УФ-радиации и т.п.).

Целью исследования было изучение действия низкой положительной температуры на накопление фенольных соединений, пролиферативную активность клеток и динамику клеточного цикла, а также образование АФК в контрольных и трансгенных по гену СОД растений табака.

Контрольные и трансгенные по гену СОД (*FeSOD1* из *Arabidopsis thaliana*) растения табака (*Nicotiana tabacum* L.), культивировали в сосудах с пластиковыми крышками при +24°C и 16 час. фотопериоде (интенсивность освещения 5500 люкс) на среде Мурасиге-Скуга с добавлением 0,7% агара. Растения, имеющие по 5 настоящих листьев, помещали в камеру «Сапуо» и выдерживали в течение 6 дней при +8°C и 16-час. фотопериоде. Оценивали их морфо-физиологические характеристики и накопление фенольных соединений.

ФС извлекали 70%-ным этанолом из измельченного растительного материала (листья). Гомогенат выдерживали 45 мин при 45°C, центрифугировали (16000 об./мин, 15 мин) и надосадочную жидкость использовали для спектрофотометрического определения суммарного содержания ФС с реактивом Фолина-Дениса. Калибровочную кривую строили по рутину. В экспериментах использовали 5-кратную биологическую и 3-кратную аналитическую повторность измерений.

Растения табака контрольных и трансформированных геном СОД вариантов по фенотипическим характеристикам практически не отличались, также как и по реакции на воздействие низкой положительной температуры. Определение суммарного содержания ФС показало практически равный их уровень при выращивании в контрольных условиях, что свидетельствует об отсутствии влияния экспрессии гена СОД на биосинтез этих вторичных метаболитов. После воздействия низкой положительной температуры их количество повышалось относительно контроля: в 3 и 2 раза у нетрансформированных и трансформированных растений, соответственно.

---

Кроме этого, у трансгенных и исходных растений при низкой положительной температуре происходит замедление клеточного цикла в G<sub>2</sub> фазе (G<sub>2</sub>/M arrest), что ведет к снижению пролиферативной активности клеток меристемы и к замедлению роста растений. При восстановлении температурного режима (сутки, 22°C) у исходных растений увеличилось количество клеток в G<sub>2</sub> / M, у трансгенных растений происходило снижение числа клеток в G<sub>2</sub> / M и увеличение их в S фазе, что свидетельствует о большей устойчивости к холоду трансгенного табака по сравнению с исходным сортом.

Исходя из этих данных можно сделать следующие выводы. Во-первых, введение гена СОД (Fe-SOD1 из *Arabidopsis thaliana*) в растения табака вызывает изменения в их морфологических характеристиках, биосинтезе ФС, тайминге клеточного цикла. Во-вторых, в условиях стрессового воздействия низкой положительной температуры, изменения в их накоплении более выражены у растений контрольного варианта по сравнению с трансформантами. Следовательно, высокая эндогенная активность СОД (важный фермент антиоксидантной системы растительных клеток) в трансгенных растениях табака снижает развитие в них окислительного стресса, и, как следствие, накопление фенольных биоантиоксидантов (низкомолекулярные соединения антиоксидантной системы растительных клеток).

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).*

---

## ВЛИЯНИЕ ГОРМОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СУСПЕНЗИОННЫМИ КЛЕТКАМИ ГОЛУБИКИ ЩИТКОВОЙ

Ларина М.В., Рыбин Д.А., Исмаилова А.А., Ветрова Я.А., Березина Е.В., Брилкина А.А.  
Университет Лобачевского, Нижний Новгород, mari\_larina99@mail.ru

Голубика щитковая (*Vaccinium corymbosum* L.) является растением со значительным содержанием фенольных соединений. Для человека особую роль играют растворимые фенольные соединения, в частности катехины и проантоцианидины, которые обладают антиоксидантной активностью. Проблемы получения фенольных соединений связаны с тем, что их синтез ограничен сезонностью развития растений, которые, к тому же, могут быть достаточно редки. Поэтому для круглогодичного получения фенольных соединений можно использовать суспензионные культуры; более того, к ним можно применять подходы и аппаратуру, разработанные для микробиологических производств.

Целью работы являлось получение суспензионной культуры клеток голубики щитковой и оценка ее способности к синтезу фенольных соединений под влиянием различных сочетаний фитогормонов.

Голубику щитковую размножали микроклонально на твердой питательной среде WPM. Инициацию каллусов проводили в течение 8 недель на той же среде с добавлением фитогормонов в концентрации 0,5 мг/л НУК и 0,5 мг/л БАП. Суспензионную культуру клеток голубики щитковой инициировали путем переноса 1 г рыхлого каллуса в 40 мл жидкой питательной среды WPM с тем же гормональным составом и культивировали в течение 4 недель на орбитальных шейкерах с радиусом вращения 2 см и скоростью вращения 120 об/мин. Далее пересаживали по 40 тысяч живых клеток в 40 мл такой же свежей питательной среды каждые 16 дней. Через 6 пассажей суспензионные клетки пересадили на питательные среды с разным сочетанием ауксинов (2,4-Д и НУК) и цитокининов (БАП, КИН, иП), каждый по 0,5 мг/л. По окончании пассажа определяли количество клеток и их жизнеспособность, сырую и сухую биомассу, суммарное количество растворимых фенольных соединений (РФС), катехинов, проантоцианидинов.

Суспензионные клетки голубики накапливали больше фенольных соединений по сравнению с каллусами в 1,2-3,5 раза, до 37 мг/г сырой массы. Перевод клеток на среды с НУК/КИН и НУК/иП приводил к резкому увеличению сырой массы (до 17,4 г/1 л). При этом сухая масса была практически неизменной. Следовательно, рост сырой массы у клеток, культивируемых на средах с НУК, обусловлен увеличением количества воды, а не накоплением сухого вещества. В варианте НУК/иП содержание РФС, катехинов, проантоцианидинов увеличилось (на 18%, 44%, 69% соответственно) по сравнению с вариантом 2,4-Д/БАП. Наиболее выраженное влияние гормонального состава среды было отмечено в отношении проантоцианидинов: на средах с НУК их содержание составило 14-22 мг/г сырой массы, в то время как на средах с 2,4-Д – 6-10 мг/г сырой массы. Таким образом, 2,4-Д поддерживает пролиферацию клеток голубики щитковой *in vitro*, а для начала синтеза фенольных соединений требуется присутствие в питательной среде других ауксинов, например, НУК.

---

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ РЕДКИХ ВИДОВ ГАЛОФИТОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: *SPERGULARIA MARINA* (L.) GRISEB. И *GLAUX MARITIMA* L.

Ларцева Л.О., Лоскутникова В.А., Пунгин А.В.

ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград,

[lida.lartseva@mail.ru](mailto:lida.lartseva@mail.ru)

На территории Калининградской области, на побережье Балтийского моря и в лагунах произрастает несколько редких видов-галофитов, занесённых в Красную книгу области и Балтийского региона. Наибольший интерес вызывают два редких вида-галофита: *Spergularia marina* (L.) Griseb. и *Glaux maritima* L. Биологическая активность и профиль фенольных соединений для данных растений мало изучены. Целью данной работы является изучение химического состава вторичных метаболитов *S. marina* и *G. maritima* и антиоксидантной активности экстрактов растений. Для определения суммарного содержания фенольных соединений был применён спектрофотометрический метод с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Для определения суммарного содержания флавоноидов был использован спектрофотометрический метод, основанный на реакции комплексообразования с хлоридом алюминия с добавлением 10%-ного раствора уксусной кислоты. Антиоксидантную активность определяли по методу DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил). Для оценки значимости различий использовали *t* – критерий Стьюдента и однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорным критерием Тьюки ( $p = 0,05$ ).

В результате анализа суммарного содержания фенольных соединений экстрактов *S. marina* было установлено наличие значимых различий ( $F = 45,337$ ;  $p \leq 0,001$ ). Высокое содержание фенольных соединений было выявлено в экстрактах из корней –  $5,3 \pm 1,1$  мг/г; в экстрактах из соцветий было обнаружено –  $2,5 \pm 0,7$  мг/г; в экстрактах из стеблей –  $1,8 \pm 0,6$  мг/л. Проведенный анализ содержания флавоноидов в экстрактах, показал наличие значимых различий ( $F = 28,819$ ;  $p \leq 0,001$ ). Наибольшее содержание флавоноидов было выявлено в экстрактах из соцветий –  $4,6 \pm 1,6$  мг/г, в то время, как наименьшее содержание выявлено в экстракте из корней –  $0,5 \pm 0,2$  мг/г; в экстрактах из стеблей было обнаружено –  $3,0 \pm 0,7$  мг/г. Анализ антиоксидантной активности методом DPPH в исследуемых образцах показал наличие значимых различий ( $F = 128,947$ ;  $p \leq 0,001$ ). Высокое содержание антиоксидантов было выявлено в экстрактах из корней –  $20,4 \pm 5,6$  мг-экв. аскорбиновой кислоты/г; наименьшее содержание в экстрактах из стеблей –  $4,3 \pm 1,4$  мг-экв. аскорбиновой кислоты/г и соцветий –  $3,7 \pm 1,2$  мг-экв. аскорбиновой кислоты/г.

В результате анализа экстрактов из корней и побегов *G. maritima* было выявлено наличие значимых различий в содержании фенольных соединений и флавоноидов ( $t = 3,6$ ;  $t = -14,3$  соответственно;  $p \leq 0,01$ ). Наибольшее содержание фенольных соединений выявлено в экстрактах корней –  $13,7 \pm 1,5$  мг/г. В свою очередь, наибольшее содержание флавоноидов обнаружено в экстрактах побегов –  $17,7 \pm 3,6$  мг/г. При сравнении антиоксидантной активности экстрактов из корней и побегов значимых различий установлено не было ( $t = 2,0$ ;  $p > 0,05$ ). Общая средняя антиоксидантная активность экстрактов *G. maritima* составляет  $39,2 \pm 8,2$  мг-экв. аскорбиновой кислоты/г.

Анализ химического состава вторичных метаболитов *S. marina* показал высокое содержание фенольных соединений и высокое содержание антиоксидантов в экстрактах корней, наибольшее количественное содержание флавоноидов выявлено в соцветиях. Наибольшее содержание фенольных соединений выявлено в экстрактах корней *G. maritima*, а флавоноидов – в экстрактах побегов. Антиоксидантная активность экстрактов корней и побегов *G. maritima* не различалась.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-74-00035, <https://rscf.ru/project/21-74-00035/>

---

## СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ РАЗНООКРАШЕННЫХ СОРТОВ МАЛИНЫ И ЕЖЕВИКИ

Лебедев В.Г.<sup>1</sup>, Перова И.Б.<sup>2</sup>, Лебедева Т.Н.<sup>3</sup>, Шестибратов К.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал ФГБУН Института биоорганической химии им. ак. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пущино, vglebedev@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ питания и биотехнологии, Москва

<sup>3</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

Россия является мировым лидером по производству ягод малины, а в последние годы, благодаря позднему сроку плодоношения, урожайности и вкусовым качествам, значительно вырос интерес к ежевике. Обе культуры относятся к роду *Rubus* и являются богатым источником полифенольных антиоксидантов, в первую очередь, антоцианов и производных эллаговой кислоты. Повышение их содержания и связанной с ними антиоксидантной активности приобретают все большее значение в селекционных программах ягодных культур. Накопление полифенолов определяется взаимодействием генетических факторов и условий окружающей среды. Современные методы селекции, в частности, использование молекулярных маркеров, позволяют значительно ускорить выведение новых сортов. Цель исследования заключалась в изучении содержания и профиля различных полифенольных соединений, антиоксидантной активности ягод, а также генетики биосинтеза флавоноидов в различных сортах малины и ежевики.

Объектами исследования являлись ягоды малины *Rubus idaeus* L. и ежевики *R. fruticosus* L., собранные в течение трех лет (2018-2020) с плантации в Тульской области. Анализировали сорта малины с желтой (Золотая Осень), оранжевой (Оранжевое Чудо) и различными оттенками красной окраски (Атлант, Бабье Лето, Брянское Диво, Геракл, Пингвин, Элегантная), а также темноокрашенные сорта ежевики (Agawam, Black Satin, Thornfree). Профиль антоцианов и производных эллаговой кислоты определяли на системе ВЭЖХ Ultimate 3000 с диодно-матричным детектором и тройным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором TSQ Endura. Суммарное содержание антоцианов, флавоноидов и фенольных соединений, а также антиоксидантную активность по методам DPPH, ABTS и FRAP определяли с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800. Генетический профиль сортов малины и ежевики изучали с помощью разработанных оригинальных микросателлитных (SSR) маркеров, расположенных в структурных и регуляторных генах биосинтеза флавоноидов.

В сортах малины с желтой и оранжевой окраской содержание антоцианов не превышало 1,6 мг/100 г. Красные ягоды малины накапливали от 11,5 до 80,6 мг/100 г антоцианов в зависимости от сорта и года сбора. В ежевике содержание антоцианов составило 142,4-165,4 мг/100 г. В малине основными антоцианами были 3-софорозид, 3-глюкозилрутинозид, 3-рутинозид и 3-глюкозид цианидина, в то время как в ежевике преобладал цианидин-3-глюкозид. Уровень свободной эллаговой кислоты и ее гликозидов в малине было значительно ниже по сравнению с эллаготанинами (0,73-1,83 и 42,5-91,3 мг/100 г). В ежевике было выше как содержание свободной эллаговой кислоты и ее гликозидов (до 5,37 мг/100 г), так и эллаготанинов (до 126,7 мг/100 г). Наблюдалась положительная корреляция между антиоксидантной активностью, определенной различными методами, и содержанием антоцианов в ягодах. Была обнаружена определенная взаимосвязь между аллельным разнообразием генов биосинтеза флавоноидов и окраской ягод.

Полученные результаты могут быть использованы для ускоренного получения сортов ягодных культур с повышенной питательной ценностью методами маркер-опосредованной селекции.



---

## ВЛИЯНИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ НА ТРАНСПОРТ ВОДЫ ЧЕРЕЗ АКВАПОРИНЫ У ПРОРОСТКОВ *AVENA SATIVA* В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Макеева И.Ю., Пузина Т.И., Петрухина Н.А.

ФГБОУ ВО Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел,  
makeevainna@inbox.ru

Исследование факторов, контролирующих транспорт воды через клеточные мембраны, представляет особый интерес в связи с тем, что не только состояние липидного бислоя, но и водных каналов, образованных белками аквапоринами, определяет проницаемость мембран для воды. Несомненно, что транспорт воды зависит от целостности мембран, которые в условиях стресса, наряду с белками и нуклеиновыми кислотами, подвергаются действию активных форм кислорода. Как известно, антиоксидантная система стабилизирует возникающий окислительный стресс. Сведения о действии антиоксидантов на трансмембранный поток воды через аквапорины весьма ограничены. В последнее время исследователи уделяют внимание антиоксидантным свойствам вторичных метаболитов и, прежде всего, флавоноидам. Ранее нами показано, что кофейная кислота – представитель фенилпропаноидов, обладает антиоксидантными свойствами и стабилизирует реакции ПОЛ в условиях гипотермии у растений картофеля.

Цель работы заключалась в исследовании участия кофейной кислоты в регуляции трансмембранного потока воды через аквапорины в листьях проростков овса.

Объектом исследования служили 16-дневные проростки, выращенные в лабораторных условиях. Субстратом служила почва «Универсальная для рассады». Обработку 10-дневных проростков проводили путём опрыскивания 0.1 мМ раствором кофейной кислоты (Sigma, США). Засуху создавали путём прекращения полива проростков в течение 6 суток. В качестве блокаторов транспорта воды через аквапорины использовали 100 мкМ раствор хлорида ртути. Для определения активности водных каналов (пребывание в открытом или закрытом состоянии) использовали ингибитор фосфатазы - 100 мкМ раствор фторида натрия.

Результаты исследования показали, что кофейная кислота в оптимальных условиях водоснабжения усиливала поток воды через аквапорины (в 1,4 раза). 6-дневная засуха снижала данный поток в контрольном варианте (1,3 раза). В условиях засухи кофейная кислота существенно (в 3 раза) увеличила транспорт воды через аквапорины. Опыты с NaF показали, что кофейная кислота стимулировала открытие водных каналов мембран как в оптимальных, так и в стрессовых условиях. По-видимому, положительное действие данной гидроксикоричной кислоты на поступление воды через аквапорины связано не только с ингибированием работы фосфатазы, но и с ее антиоксидантным действием на сохранение целостности мембран.

---

## ВЛИЯНИЯ ИНОКУЛЯЦИИ *RHIZOBIUM* НА СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ КИСЛОТ В КОРНЯХ ЭТИОЛИРОВАННЫХ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА

Макарова Л.Е., Дударева Л.В.

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск,  
makarova@sifibr.irk.ru

При повсеместном распространении фенольных кислот (ФК) в растениях состав их может иметь свои особенности у представителей разных таксономических групп растений. Так у бобовых культур наряду с общераспространенными ФК обнаруживали *o*-фенольные кислоты – *o*-кумаровая, салициловая, гентизиновая. Роль ФК в растительных организмах обусловлена не только образованием из них разнообразных и более сложных по структуре ароматических соединений. ФК могут непосредственно участвовать в клеточном метаболизме. Известным примером является салициловая кислота, которая участвует в системах клеточного сигналинга, обеспечивающих протекторные реакции на действия неблагоприятных внешних воздействия, как абиотического, так и биотического плана. В литературе имеются сведения, указывающие на вероятность участия и гентизиновой кислоты в индуцировании системной устойчивости у растений. О роли ФК в бобово-ризобиальном симбиозе известно мало, в этом процессе важна роль ФК как предшественников флавоноидов, имеющих большое значение при инициации образования примордий клубеньков на начальных этапах формирования бобово-ризобиального симбиоза. Достаточно активно изучается роль салициловой кислоты в реакции растений на ризобиальную инфекцию. Показано ее отрицательное влияние на нодуляцию.

Исследования состава свободных ФК в корнях бобовых растений, подвергающихся инокуляции *Rhizobium*, и изучение локализации их в зонах различной чувствительности к этим бактериям позволят иметь информацию для обоснования необходимости исследования роли этих соединений в бобово-ризобиальном симбиозе. Основной целью в представляемой работе было изучение состава свободных ФК и выявление особенностей локализации этих соединений в корнях инокулированных *Rhizobium* и неинокулированных (контроль) проростков гороха (*Pisum sativum* L.).

Примененная нами разработанная в 70-е годы прошлого столетия (Мийдла и др., 1975) трехступенчатая схема (с применением эфиров, 5% NaHCO<sub>3</sub>) экстракции и отделения свободных ФК от других ароматических компонентов, присутствовавших в экстрактах, последующие исследования компонентов экстрактов различными методами (бумажная хроматография, ТСХ, капиллярный электрофорез, УФ- и ГХ-МС- спектроскопия и др.) позволили выявить в числе присутствующих в корнях гороха *n*-кумаровую, *o*-кумаровую, феруловую, бензойную, *n*-оксибензойную, ванилиновую, галловую, гентизиновую, салициловую и  $\zeta$ -резорциловую кислоты.  $\zeta$ -Резорциловая кислота впервые обнаружена у растений гороха в исследованных нами экстрактах методом ГХ-МС, после метилирования (пробоподготовка для ГХ-МС-анализа) в присутствии серной кислоты экстрактов, содержавших ФК.

Мониторинг состава ФК в 5-миллиметровых отрезках корней, проведенный методом ГХ-МС-анализа, выявил влияние инокуляции только на локализацию гентизиновой кислоты. В инокулированных *Rhizobium* корнях эта кислота найдена в исследованных зонах по всей длине корня, а у контрольных растений она обнаружена только в апикальной его части. Эти различия в локализации гентизиновой кислоты являются свидетельством возникновения защитной реакции корневых клеток на воздействие ризобий и позволяют высказать предположение об усилении ее образования при окислении салициловой кислоты и об ее совместном участии с салициловой кислотой в сигнальных системах, контролирующими ответные реакции корневых клеток растений гороха на инокуляцию ризобиями.

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У *SANGUISORBA OFFICINALIS* В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА

Малева М.Г., Беренцева С.В., Чукина Н.В., Борисова Г.Г.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
maria.maleva@mail.ru

*Sanguisorba officinalis* L. (кровохлебка лекарственная) – широко распространенное растение с выраженными фармакологическими свойствами (противовоспалительным, антисептическим, кровоостанавливающим и др.). Однако особенности биохимического состава растений *S. officinalis*, произрастающих в условиях техногенного воздействия, изучены недостаточно. Как известно, фенольные соединения выполняют защитные функции у растений при разных типах стрессового воздействия.

Цель исследования – оценка содержания растворимых фенолов в корнях и листьях, а также содержания антоцианов в цветках *S. officinalis* в зоне деятельности Карабашского металлургического комбината (КМК), Челябинская область, Россия. Территория в окрестностях КМК уже более столетия подвергается влиянию его аэротехногенных выбросов, содержащих SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, а также различные тяжелые металлы (ТМ).

Отбор растительного материала проводили из двух локальных популяций *S. officinalis*: на импактном участке (гора Золотая, 3 км от КМК) и фоновом участке (гора Егоза, 34 км от КМК). Параллельно отбирали образцы ризосферной почвы. Содержание металлов в листьях, корнях и почве определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Для сравнительной оценки изученных местообитаний *S. officinalis* был рассчитан суммарный индекс токсической нагрузки ( $S_i$ ) по формуле:  $S_i = (1/n)\sum(C_i/C_{фон})$ , где  $C_i$  – валовая концентрация металла в почве импактного участка,  $C_{фон}$  – валовая концентрация металла в почве фонового участка,  $n$  – число исследованных металлов. Общее содержание растворимых фенольных соединений в листьях и корнях определяли спектрофотометрически при 760 нм с использованием реактива Фолина–Чокальтеу после предварительной экстракции 70%-раствором этанола. Содержание антоцианов в цветках определяли при 510 и 700 нм после экстракции 1% соляной кислотой.

Суммарный индекс токсической нагрузки на импактном участке, рассчитанный по содержанию в почве семи металлов (Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr и Fe), составил 12. В условиях техногенной нагрузки содержание ТМ существенно возросло как в корнях, так и в листьях *S. officinalis*. Причем, все изученные ТМ, за исключением марганца, в большей степени аккумулировались в корнях.

Общее содержание растворимых фенольных соединений в корнях было в среднем в 2,4 раза выше, чем в листьях, что согласуется с данными других авторов. Более высоким накоплением фенолов в корнях (на 25%) отличались растения из импактного участка, в то время как содержание фенолов в листьях было существенно (в 1,5 раза) выше у растений *S. officinalis* на фоновом участке. Корреляционный анализ с помощью ранговой корреляции Спирмена ( $p < 0,05$ ) выявил положительную связь между содержанием растворимых фенолов в корнях и концентрацией всех изученных ТМ, за исключением Mn. При этом для листьев, напротив, в большинстве случаев отмечена отрицательная корреляция. Содержание антоцианов в цветках *S. officinalis* на импактном участке было в 4,3 раза ниже, чем на фоновом, что, очевидно, обусловлено непосредственным действием аэротехногенных выбросов в зоне влияния КМК. Отмечена отрицательная корреляция между содержанием антоцианов и таких ТМ, как медь, цинк, никель и железо.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о значительном влиянии техногенного загрязнения на содержание фенольных соединений в надземных и подземных органах *S. officinalis* и возможном участии этих протекторных соединений в защите растений от избытка ТМ.

---

## ФЛАВОНОИДЫ *NEPETA OLGAE REGEL (L.)* И *NEPETA BADACHSCHANICA (L.)*, ПРОИЗРАСТАЮЩИЕ В УЗБЕКИСТАНЕ

Мамаджонова М.Ю., Дехконов Р.С., \*Жамилова М.М., Абдуллаев Ш.В.  
Наманганский государственный университет, Наманган, Узбекистан  
\*27 школа, Наманган, Узбекистан

*Nepeta Olgae Regel* и *Nepeta Badachschanica* является эндемичными растениями (Кыргыз. Узбекистан, Таджикистан и Узбекистан); Они встречаются на каменистых и гравийных склонах предгорий и нижний горный пояс Западного Тянь-Шань и Памир-Алая. Это многолетнее травянистое растение. Растения в основном содержит эфирные масла. Отвар травы считается лекарственным. Настойка *Nepeta* используется для повышения «аппетита», как тонизирующий и желчегонное средство, применяется также для лечения бронхитов, гастритов, геморроя и диарея.

В связи с этим исследование химического состава и биологической активности этих растений является перспективным и актуальным.

В данной работе изучены биологически активные вещества из растений семейства *Lamiaceae* воздушно-сухой и свежей надземной части растения *Nepeta Olgae Regel (L.)* и *Nepeta Badachschanica*, произрастающей на территории Наманганской области Республики Узбекистан в период цветения.

Листья растений были собраны и высушены на воздухе в лаборатории в течение двух недель и измельчено в мелкий порошок с помощью стерилизованной механической мельницы. 1,0 кг каждого мелкодисперсного порошка помещали в колбу и экстрагировали 48 ч. с 70 % ным метанолом; после чего смесь фильтровали и фильтрат концентрировали на роторном испарителе.

Экстракты идентифицировали химическим тестом, тонкослойной хроматографией а также методом ВЭЖХ: К 3 мл экстракта добавляли 1 мл 10% NaOH. А желтая окраска, наблюдаемая в каждом протестированном экстракте указало на наличие флавоноидов в экстракте. Химический анализ экстрактов листьев *Nepeta Olgae Regel (L.)* и *Nepeta Badachschanica* выявили наличие флавоноидов, кумаринов и гликозидов в экстрактах метанола, а также отсутствие алкалоидов и дубильных вещества.

Анализ тонкослойной хроматографией была проведена на пластинках силикагеля Merck, на которой размещали каждый экстракт. Были использованы смесь растворителей хлороформ:метанол в соотношении 20:1, что привело к разделению компонентов в широком диапазоне значений Rf. Компоненты визуализировали в ультрафиолетовом свете (254 и 366 нм) и опрыскивали следующими реактивами для выявления пятен разных групп: Реактив Драгендорфа на алкалоиды, калия гидроксида в растворе метанола для кумаринов, хлорида алюминия для флавоноидов и серная кислота для стероидов и терпенов.

Тонкослойный хроматографический анализ 70 % ный метанолный экстракты дал три пятна с Rf значения 0,24, 0,47 и 0,67. Три пятна дали положительный тест на наличие флавонов и флавонолов, но отрицательно для изофлавоны, антоцианы, флавононы и лейкоантоцианы были обгаружены при опрыскивании конц. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и раствор 10% NaOH соответственно.

Методом ВЭЖХ обе растения (экстрагент-спирт метиловый 70 %) впервые идентифицированы фенольные соединения в растение *Nepeta Olgae Regel* как рутин, катехин, кверцетин, кемпферол и мирицетин (флавоноиды), ситостерин, долкостерин, кумаровую кислоту, галловую кислоту, кофейную и аскорбиновую кислоту. В растение *Nepeta Badachschanica* определено флавоногликозиды. В траве также доминировали фенилпропаноиды и преобладающими соединениями были аскарбиновая и розмариновая кислота. Показано, что изученные виды являются ценными источниками фенольных соединений и могут быть рекомендованы как перспективные для практического применения.

---

## РОЛЬ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОКСИДА АЗОТА НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ

Масленникова Д.Р., Ласточкина О.В., Шакирова Ф.М.  
ФГБУН Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, dishaoil@mail.ru

Оксид азота (NO) является внутриклеточной сигнальной молекулой, регулирующей реализацию основных физиологических процессов на всех этапах жизненного цикла растений, участвуя в регуляции прорастания семян, корнеобразования, гравитропизма, закрывания устьиц, цветения, созревания плодов, старения. Кроме того, NO вносит важный вклад в повышении устойчивости растений к стрессовым воздействиям биотической и абиотической природы. Диапазон механизмов, вовлекаемых в реализацию NO-индуцируемых реакций достаточно широк. Так, нами было обнаружено, что 200 мкМ SNP (нитропруссид натрия) – донор NO, способен позитивно регулировать состояние гормональной и антиоксидантной систем, стабилизировать работу фотосинтетического аппарата и полностью восстанавливать ростовые параметры растений в условиях нарушения водного режима. Важным следующим этапом в изучении механизмов регулируемых NO является оценка содержания салициловой кислоты (СК) в обработанных растениях в норме и при дефиците влаги. Хорошо известно, что СК – фитогормон фенольной природы, который участвует в регуляции и реализации широкого диапазона физиологических и защитных реакций на протяжении всего онтогенеза растений. В данной работе был проведен анализ влияния предобработки в течение 24 ч растений пшеницы (*Triticum aestivum L.*, сорт Салават Юлаев) 200 мкМ SNP на содержание тотальной СК в целых растениях пшеницы в норме и при действии 12% ПЭГ-6000, моделирующего дефицит влаги.

Методом ВЭЖХ были получены результаты, которые показали, что в контрольном варианте уровень эндогенной СК составил 87,7 нг/г сырой массы, тогда как 7 ч воздействия 12% ПЭГ вызвало накопление СК до 150 нг/г. Такое почти двукратное повышение содержания СК вполне объяснимо и соответствует данным литературы. Оценка содержания СК в растениях пшеницы после 24 ч воздействия SNP, можно считать это нулевой точкой, выявила почти пятикратное повышение содержания СК, которое составило 429,4 нг/г сырой массы, последующий 7 ч стресс приводил к падению содержания СК до 154,6 нг/г сырой массы растений. Таким образом, выявленный повышенный эндогенный уровень СК является маркером, свидетельствующим о вовлеченности этого фитогормона в спектр физиологических и антистрессовых реакций NO на растения пшеницы. Полученные результаты указывают на защитный эффект 200 мкМ SNP на проростки пшеницы в условиях дефицита влаги и расширяют наши познания о проявлениях протекторного действия NO в растениях.

*Работа была выполнена с привлечением приборного парка РЦКП “Агидель” и УНУ «КОДИНК» УФИЦ РАН в рамках госзадания (тема №АААА-А21-121011990120-7) и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№20-04-00904\_a).*



---

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛОДАХ *SORBUS AMURENSIS KOEHNE*

Матющенко Н.В.

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный медицинский университет МЗ РФ, Хабаровск,  
natashavm@mail.ru

Рябина амурская (*Sorbus amurensis Koehne*) широко распространенное в Приамурье и Приморье дерево семейства Розоцветных (*Rosaceae*). Рябина амурская имеет большое морфологическое сходство и близкое систематическое положение с рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia L.*) и является ее викариантом. Химический состав рябины обыкновенной хорошо изучен, а сведения о составе рябины амурской отсутствуют, но благодаря сходству она может являться ценным источником биологически активных веществ. На Дальнем Востоке России рябину амурскую традиционно заготавливают и применяют также, как и рябину обыкновенную как поливитаминное, мочегонное, желчегонное, вяжущее, жаропонижающее и т.п. средство.

Объектами исследования служили 45 образцов плодов рябины амурской, заготовленные во время созревания в различных районах Дальнего Востока России с 2000 по 2021 гг. и высушенные до воздушно-сухого состояния. Образцы сырья подвергались качественному и количественному анализу по содержанию флавоноидов, гидроксикоричных кислот и дубильных веществ. Результаты исследований обработаны статистически.

Для установления присутствия групп фенольного комплекса плодов рябины амурской использовали известные цветные реакции. По реакции с квасцами железоммониевыми, с раствором свинца уксуснокислого основного, с раствором желатина, раствором хинина хлорида и 5% раствором калия бихромата обнаружены дубильные вещества, преимущественно гидролизуемой природы. Реакциями с растворами алюминия хлорида, свинца уксуснокислого основного, концентрированной хлористоводородной кислотой в присутствии металлического цинка подтверждено наличие флавоноидов.

УФ-спектры спиртовых извлечений, показали наличие ярко выраженных экстремумов, характерных для фенольных соединений: максимум второй полосы находится при  $291 \pm 0,9$  нм, первой полосы – при  $326 \pm 0,6$ , а минимум при  $264 \pm 0,3$  нм.

Количественное определение исследуемых фенольных соединений проводили по общепринятым и разработанным нами методикам. Дубильные вещества определяли по фармакопейной статье перманганатометрическим титрованием водного извлечения. Сумму флавоноидов определяли в спиртовых извлечениях по разработанной нами дифференциальной спектрофотометрической методике по реакции с алюминия хлоридом. Определение гидроксикоричных кислот проводилось прямым спектрофотометрированием спиртовых извлечений, полученных для количественного определения флавоноидов, при длине волны 326 нм в пересчете на кофейную кислоту.

Содержание дубильных веществ в рябине амурской колеблется от 1,97 до 3,77% и составляет в среднем 2,83%. Коэффициент вариации данной группы БАВ составляет 17%. Содержание гидроксикоричных кислот в образцах рябины амурской составляет в среднем 1,30% и колеблется от 0,71 до 1,91%. Коэффициент вариации содержания данной группы БАВ составляет соответственно 21%. Среднее содержание суммы флавоноидов составляет 0,236%, максимальное значение – 0,373%, минимальное – 0,098%, коэффициент вариации 38%.

Таким образом, в результате проделанной работы получены данные по содержанию в плодах рябины амурской таких групп фенольных соединений, как флавоноиды, дубильные вещества и гидроксикоричные кислоты.



---

## THE REVEALING OF REGULATORY GENES ARE RESPONSIBLE FOR BROWN PIGMENTATION IN COLORED COTTON FIBER

**Mikhailova A.S.<sup>1,2</sup>, Strygina K.V.<sup>1</sup>, Khlestkina E.K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Research Center N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, VIR,  
Saint-Petersburg,

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State University, SPSU, Russia, a.mikhailova@vir.nw.ru

Cotton is one of the main crop in the world, which is widely used in many sectors of industry. In particular, textile industry requires the application of extensive water, energy, chemical and other related resources during processing of raw cotton fibres. However, extensively dyeing and bleaching may lead to significant environmental pollution. In this connection, nowadays the breeding of cotton cultivars with naturally coloured fibre is actively developing direction. Brown pigmentation is caused by presence of oxidized tannins or proanthocyanidins (PAs, phenolic pigments) in the cell vacuoles. Many structural flavonoid genes have been identified in cotton genome, while there is not enough information about regulatory genes, controlling their transcription. The aim of this work include characterization of the *R2R3-MYB*, *bHLH-MYC* and *WD40* gene families in allotetraploid cotton species (*Gossypium hirsutum* L.), involving in the synthesis of phenolic pigments. For the first, we identified high homologous regulatory genes in the CottonFGD database (<https://cottonfgd.org/>) using BLAST algorithm to study their structure by *in silico* analysis. The predicted 3D structure of R2R3-MYB, bHLH-MYC and WD40 proteins were visualized using SWISS model server (<https://swissmodel.expasy.org/>). Despite of some differences in a primary amino acid sequences, a tertiary one kept conservative. Phylogenetic analysis was conducted using MEGA-X software with application UPGMA approach as a clustering method. We revealed that all duplication events occurred in the genome of common diploid ancestor of the *Gossypium* genus and were supported by a negative evolution ( $Ka/Ks < 1$ ), however *WD40* genes showed to be the most conservative. For this reason, we excluded *WD40* and resequenced of alleles of the *R2R3-MYB*, *bHLH-MYC* genes as a more suitable candidates for phenotypic variation. In accordance with obtained data, we isolated gene-candidate based on nucleotide sequences among samples with contrasting phenotype. Samples with light-brown fibre differ insertion in length about 51 bp in promoter region and have some missense mutations in the functional R2 domain. For instant, replacement of conservative Tryptophan residue on Arginine is the most critical because Tryptophan's cluster is important for DNA binding. Revealed allele diversity can be useful for marker marker-assisted selection or genome editing to create naturally coloured cotton cultivars with agriculturally valuable traits.

*The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of Agreement No. № 075-15-2020-911 of 16.11.2020 on providing a grant in the form of subsidies from the federal budget for the implementation of state support for the creation and development of the world-class scientific center "Agrotechnologies for the future".*

---

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ СТИЛЬБЕНОВ В ЛИСТЯХ ВИНОГРАДА ПРИ ПРАЙМИНГЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ

Мишко А.Е., Луцкий Е.О., Вялков В.В., Сундырева М.А.

ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия,  
Краснодар, taurim2012@yandex.ru

Большинство возделываемых сортов винограда не устойчивы к патогенам. Для повышения уровня ответной реакции растения на воздействие биотического стресс-фактора все чаще обращаются к биологическим способам защиты, к которым относится прайминг. Предобработка микроорганизмами способна инициировать запуск механизмов устойчивости, которая на этапе непосредственного контакта с патогеном будет определена наличием целого ряда защитных барьеров у растения. Важной реакцией на биотический стресс является синтез и трансформация различных классов фенольных соединений. Одним из ключевых элементов ответной реакции растений на биотический стресс является синтез стильбеновых фитоалексинов, к которым у винограда относятся ресвератрол и его производные. Цель настоящего исследования заключалась в определении содержания стильбенов и халконов в листьях иммунного к милдью подвоя Кобер 5ББ и восприимчивого сорта Мускат белый (*Vitis vinifera*) при прайминге естественными симбионтами – винными дрожжами (*Saccharomyces cerevisiae* (SC)), антагонистическими микроорганизмами *Trichoderma viride* (TV) и *Bacillus subtilis* (BS). Листовые диски обрабатывали суспензией клеток соответствующих микроорганизмов. В качестве контрольного варианта использовали дистиллированную воду. Через 24 и 48 часов после проведенных обработок листовые диски измельчали в жидком азоте и сохраняли при -80°C для дальнейших исследований. У отобранного материала определяли содержание халконов и стильбенов, экспрессию генов стильбенсинтаз. Кроме того, была проведена оценка уровня активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидаз. Иммунный к милдью сорт винограда Кобер 5ББ, как и неустойчивый сорт Мускат белый проявили сходные реакции на биологические агенты прайминга (BS, TV, SC). SC стимулировал образование микроботоксичного виниферина. Пик синтеза данного метаболита наблюдался через 48 часов после обработок. Содержание слаботоксичного пицеида оставалось либо на уровне контроля, либо снижалось. Та же тенденция наблюдалась и при определении содержания халконов: высокоэффективная обработка SC понижала их содержание. Полифенолоксидаза (ПФО) обеспечивает окисление разнообразных фенольных соединений, преобразуя их в компоненты клеточных стенок и более токсичные метаболиты. В листьях Кобер 5ББ через 24 часа после обработок активность фермента снижалась, а через 48 часов возвращалась к контрольному уровню, кроме варианта TV, когда активность возрастала существенно. В листьях сорта Мускат белый активность ПФО имела тенденцию к значительному росту в эффективной против милдью обработке SC и BS. Пероксидазы имеют важное значение в процессах формирования устойчивости растений, защищая от окислительного стресса, трансформируя субстратные вещества до форм с большей биологической активностью (преобразование ресвератрола в виниферин). Для Кобер 5ББ характерным было снижение активности ферментов через 24 часа после обработок, а через 48 часов – резкое повышение при обработках TV и BS. В листьях сорта Мускат белый обработки BS и SC повышали активность пероксидаз. Экспрессия стильбенсинтазы (STS) находилась на более высоком базовом уровне у иммунного сорта Кобер 5ББ. STS экспрессировалась в первые сутки после обработки SC. У неустойчивого сорта Мускат белый без стимулирующих обработок уровень экспрессии STS находился на низком уровне. Наибольшие изменения наблюдались в варианте SC.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-016-00210 А.*

## ВЛИЯНИЕ СТРЕССА ЗАСУХИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СИНТЕЗА ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ЛИСТЯХ ДВУХ ВИДОВ АМАРАНТА

Мотылева С.М.<sup>1</sup>, Гинс М.С.<sup>2</sup>, Тетянников Н.В.<sup>1</sup>, Кабашникова Л.Ф.<sup>3</sup>, Мертвищева М.Е.<sup>1</sup>,  
Панищева Д.В.<sup>1</sup>, Доманская И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и  
питомниководства, Москва, motyleva\_svetlana@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБНУ ФНЦ Овощеводства, Московская обл., пос. ВНИИССОК

<sup>3</sup>Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск

Представители видов *Amaranthus tricolor* L. с. Валентина (овощной сорт красного цвета, листья и семена которого имеют питательную ценность) и *Amaranthus cruentus* L.с. Крепыш (зерновой, зеленоокрашенный сорт с семенами, имеющими питательную ценность), созданные в ФНЦ Овощеводства, успешно выращиваются в Центральном регионе России. Однако в летние месяцы засушливый период отрицательно сказывается на продуктивности этих видов. Целью настоящей работы было изучение механизмов засухоустойчивости двух видов амаранта в условиях искусственного абиотического стресса, вызванного засухой.

Вегетативный опыт с растениями амаранта проведен в 2020-2021 гг. Продолжительность периода почвенной засухи составила семь дней. Растения изучали при снижении влажности почвы до 20-25%. Состав основных метаболитов листьев анализировали методом газовой хромато-масс-спектрометрии на приборе JEOL JMS-Q1050GC (JEOL Ltd, Япония).

В спиртовых экстрактах листьев амаранта суммарно определено 43 вторичных метаболита. В листьях *Amaranthus tricolor* L. идентифицировано 42 вещества, в листьях *Amaranthus cruentus* L.) – 35 метаболитов. Среди 9 соединений, обладающих антимикробными свойствами, 5 относятся к органическим кислотам - молочная, пировиноградная, глиоксильная, ацетамидная, яблочная и винная кислоты; идентифицированы сахарный спирт глицерин; ацетамид. и бензойная кислота. Содержание молочной, бензойной, яблочной и маннотриоксиновой кислот в листьях сорта Валентина выше в 40, 6, 2 и 1,5 раза, чем в листьях сорта. Крепыш. Глиоксильная кислота содержится только в листьях амаранта зеленого цвета; Ацетамид есть только в листьях красного амаранта. Другие органические кислоты представлены следующими соединениями: бутановая, щавелевая, 2-бутандиовая, моноэтилмалоновая а, янтарная, глицериновая, 2-оксопентановая, малоновая, 2,3,4-тригидроксимасляная, арабиновая, кетоянтарная, фумаровая, 2-пропеновая и лимонная кислоты. Фенольные соединения представлены кофейной кислотой, ванилиновой кислотой и коричной кислотой. Также были обнаружены следующие соединения: гликозид апигенин, кетокислота - 1,2-кетоглутаровая кислота, сахарная кислота - мио-инозитол; 4 аминокислоты - лауриновая, миристиновая, пальмитиновая и стеариновая (только в листьях сорта Валентина). В условиях засухи в листьях *Amaranthus tricolor* L. в значительно большем количестве синтезировались следующие соединения: маннотриоксиновая кислота - в 70 раз, мио-инозитол - в 40 раз, кофейная кислота - в 23 раза, винная кислота - в 15 раз, глицерин - в 7 раз, L-пролин и серин - в 4 раза и гликолевая кислота, щавелевая и молочная кислоты - в 2-3 раза. Различия в синтезе этих соединений менее выражены в листьях *Amaranthus cruentus* L. Наши результаты согласуются с ранее полученными данными о том, что накопление пролина и других аминокислот увеличивается при снижении водного потенциала листьев. Мио-инозитол необходим для синтеза веществ, участвующих в передаче внутриклеточных сигналов от рецепторов. Выявлены особенности специфических изменений состава метаболитов в листьях разных видов амаранта. Наибольший адаптивный потенциал к стрессу с учетом комплекса изученных физиолого-биохимических показателей продемонстрировал амарант сорта. Валентина.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ, номер проекта 20-516-00012. Исследование также финансировалось проектом BRFFR №B20R-298.

---

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ПЕКТИН–СЕРЕБРО НА ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ В ИНФИЦИРОВАННЫХ РАСТЕНИЯХ ЯЧМЕНЯ

Недведь Е.Л., Калацкая Ж.Н., Гилевская К.С.\*, Рыбинская Е.И., Красковский А.Н.\*,  
Корытько Л.А., Мельникова Е.В., Ламан Н.А.

Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск

\*Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, nedved\_e@tut.by

В последние годы в литературе все чаще упоминаются сведения о перспективах использования наночастиц серебра для борьбы с возбудителями болезней растений. В связи с чем, разработка и изучение биологической активности композитов, содержащих серебро в наноформе и природные полисахариды в качестве стабилизирующей матрицы, являются весьма актуальными. Наноконпозиты пектин-Ag получали методом «зеленой химии» путем химического восстановления нитрата серебра пектинами. Использовали пектины Цитрус (Pect Citrus, Sigma) и Классик (Pect Classic, Herbstreith and Fox, AV901) с молекулярной массой 141 и 89 кДа и степенью этерификации 80 и 38 % соответственно. Предварительный скрининг влияния наноконпозитов полисахарид-серебро на биометрические показатели проростков ячменя, а также изучение их фунгицидной активности в отношении возбудителей темно-бурой и сетчатой пятнистости позволил выявить потенциальные соединения-лидеры на основе пектина – Pect Classic 3,4 мг/мл – Ag 3,4 мг/мл и Pect Citrus 3,4 мг/мл – Ag 3,4 мг/мл (исходные концентрации пектинов и серебра) с разведением в 10 раз. В дальнейшем оценивали влияние эффективных концентраций наноконпозитов на биохимические особенности инфицированных растений, в частности, содержание фенольных соединений и активность полифенолоксидазы (ПФО) в модельном эксперименте. Растения ячменя выращивали в лабораторных условиях рулонным способом (режим освещения: 14 ч света / 10 ч темноты) до 7-дневного возраста, затем отрезки листьев ячменя (5 см) помещали в чашки Петри на исследуемые растворы наноконпозитов и заражали водной суспензией конидий возбудителей пятнистостей ячменя. Контролем служили инфицированные отрезки, инкубируемые на воде.

Оценка изменения суммарного содержания фенольных соединений показала, что в инфицированных отрезках ячменя на 3-е сутки происходило возрастание их уровня в среднем на 30% относительно неинфицированных растений во всех вариантах. На 6-е сутки в инфицированных контрольных отрезках суммарное содержание фенольных соединений практически не изменялось, тогда как при инкубации на растворах наноконпозитов уровень полифенолов превышал на 22% и 10% значения в инфицированном контроле в вариантах Pect Classic–Ag и Pect Citrus–Ag соответственно. Активность ПФО на 3-е сутки возростала относительно инфицированного контроля на 12% (Pect Classic – Ag) и на 17% (Pect Citrus–Ag). По сравнению с начальной стадией болезни в инфицированных контрольных отрезках к 6-м суткам активность фермента повышалась на 30%, тогда как при инкубации на растворах наноконпозитов – практически не изменялась (Pect Classic – Ag), либо возростала на 15% (Pect Citrus – Ag). Таким образом, при действии наноконпозитов пектин-серебро увеличение суммарного содержания фенольных соединений на фоне пониженной активности ПФО в период интенсивного развития болезни свидетельствует о защитной реакции, направленной на возрастание уровня токсичных для патогенов полифенолов, что приводит к снижению интенсивности инфекционного процесса и сохранению жизнеспособности отрезков листьев.

*Работа была выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант Б21В-002).*

## РАСТЕНИЯ ГОЛУБИКИ – ПРОДУЦЕНТЫ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Нечаева Т.Л., Стахеева Т.С.\*, Зубова М.Ю., Васильева О.Г.\*, Загоскина Н.В.

ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Nechaeva@ifr.moscow

\*ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва

Фенольные соединения (ФС) растительного происхождения привлекают большое внимание в связи с характерной для них биологической активностью и успешным использованием, как в пищевом рационе человека, так и в качестве лекарственных препаратов. К числу перспективных их источников относятся растения голубики высокорослой, для которых характерно накопление этих вторичных метаболитов, представленных антоцианами, катехинами, таннинами и другими веществами. В России сорта голубики представлены незначительным числом экземпляров и выращиваются преимущественно в ботанических садах и селекционных учреждениях, в том числе в отделе культурных растений ГБС РАН (Москва) и генобанке лаборатории биотехнологии растений.

Одним из важных направлений в отношении сохранения биоразнообразия растений является использование методов биотехнологии, в частности микроклонального размножения, позволяющего поддерживать ценные культуры в условиях *in vitro* и разрабатывать технологии их выращивания. В настоящее время достигнуты успехи в оптимизации питательных сред для роста культуры голубики высокорослой, проведена оценка их эффективности и другим аспектам размножения (Стахеева и др., 2018). Имеется небольшое число данных по содержанию в них фенольных соединений (Giacalone et al., 2011). При этом следует учитывать особенности накопления этих вторичных метаболитов у различных видов/сортов культур промышленного использования, а также «зависимость» этого процесса от длительности их выращивания в условиях *in vitro*, что и было целью нашей работы. Объекты исследования: интактные растения и культивируемые *in vitro* микропобеги голубики (*Vaccinium corymbosum* L.) сортов Норт Кантри и Блюкроп из коллекции ГБС РАН. Растения выращивали в открытом грунте. Субстратом для них служил верховой торф, смешанный с хвойным опадом (соотношение 1:1), на дренажном слое из песка. В качестве исходных эксплантов для клонального микроразмножения использовали апикальные и латеральные почки побегов интактных растений с небольшими участками стебля. Микропобеги выращивали в течение 60 дней на питательной среде Андерсена, содержащей индолил-3-уксусную кислоту (1 мг/л) и 2-изопентиладенин (5 мг/л) при 16-часовом фотопериоде, температуре 23–25°C, влажности 70% и освещении 3 000 люкс.

Для исследований использовали листья интактных растений и микропобегов, которые экстрагировали 96%-ным этанолом для извлечения ФС. Содержание ФС определяли спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина-Дениса (при 725 нм). В листьях однолетних побегов голубики высокорослой наибольшее суммарное содержание фенольных соединений отмечено у сорта Блюкроп, которое на 20% превышало таковое у сорта Норт Кантри. Что касается *in vitro* выращиваемых микропобегов, то в обоих случаях уровень этих метаболитов был достаточно близок в середине пассажа (возраст 36 дней). К концу пассажа (56 дней) он не изменялся у микропобегов сорта Норт Кантри и снижался у сорта Блюкроп (на 20% по сравнению с более ранним этапом роста). Вследствие этого на завершающих этапах их роста у сорта Норт Кантри накопление ФС превышало таковое у сорта Блюкроп. Все это свидетельствует об изменениях в биосинтезе этих вторичных метаболитов по мере роста *in vitro* микропобегов голубики высокорослой сорта Блюкроп в отличие от сорта Норт Кантри, что может быть предметом дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121050500047-5).



---

## АСПЕКТЫ ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЯДРОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ У *PINUS SYLVESTRIS* L.

**Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Софронова И.Н.,  
Бородина М.Н, Коржова М.А., Ершова М.А., Корженевский М.А., Чирва О.В., Афошин Н.В.,  
Серкова А.А., Иванова Д.С., Семенова Л.И., Мошников С.А., Ромашкин И.В.,**

**Харитонов В.А.**

Институт леса – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ Карельский научный центр РАН,  
Петрозаводск, knikerova@yandex.ru

В результате старения заболони (SW) образуется нефункциональная ксилема, называемая ядровой древесиной (HW). Основу формирования HW составляют специфические метаболические события, которые регулируются на физиолого-биохимическом и молекулярно-генетическом уровнях. При этом особенный интерес для биохимиков и физиологов растений представляет тот факт, что пространственно-временные события, ведущие к формированию HW, можно исследовать в радиальном ряду «флоэма (Pm) – ксилема (Xm) – SW – транзитная зона (TZ) – HW».

Впервые на территории России в ходе исследования растений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного возраста (30-180 лет) в сосняках брусничных в средней подзоне тайги, северной подзоне тайги и северной границе северной подзоны тайги было изучено: содержание лигнина, экстрактивных веществ; активность ферментов фенилаланинаммиак-лиазы (PAL), пероксидазы (PO) и полифенолоксидазы (PPO). Также интерес представляли уровень экспрессии PAL – реакция синтеза транс-коричной кислоты – предшественника большинства фенольных соединений; стильбенситазы (STS) – реакция синтеза пиносильвина – основного фенольного вещества в HW у *Pinus sylvestris*; халкон-флавоноизомеразы (CHI) – реакция превращения халкона во флаванон, флавонон-3-гидроксилазы (F3H) – реакция превращения флаванона в дигидрофлавонол.

В период активного камбияльного роста в сосняках брусничных в средней подзоне тайги в радиальном ряду Pm-Xm-SW на фоне снижения активности PO и возрастания активности PAL и PPO возрастает содержание экстрактивных веществ в HW по сравнению с SW, а содержание лигнина не изменяется. Интересно, что содержание экстрактивных веществ значительно возрастает с увеличением камбияльного возраста в HW, а содержание лигнина, соответственно, значительно убывает и в SW, и в HW. Этот эффект удалось обнаружить при исследовании образцов, отобранных на разных высотах. В период покоя в сосняках брусничных в северной подзоне тайги и северной границе северной подзоны наблюдается тенденция на повышение активности PAL в ряду SW-TZ при снижении активности PO и PPO. При этом содержание экстрактивных веществ и лигнина монотонно возрастает по направлению от SW к HW через TZ. Эти события происходят при повышении уровня экспрессии генов, кодирующих PAL, STS, CHI и F3H, в TZ по сравнению с HW.

Такая специфика метаболических событий при формировании HW у *Pinus sylvestris* L. может послужить основой для понимания пространственных и временных особенностей образования фенольных соединений разных классов, которые образуют химическую и структурную основу HW под контролем соответствующих генов и ферментов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ (№ 21-14-00204).

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

---

## DETERMINATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY AND SECONDARY METABOLITE AMOUNT OF *CROCUS CANCELLATUS* SUBSP. *LYCIUS* UNDERGROUND METHANOLIC EXTRACT

Mehmet Özgür Atay, Ramazan Mammadov, Olcay Ceylan

Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Muğla Sıtkı Kocman University, Muğla, Turkey

Plants have been used for nutritional and therapeutic purposes since ancient times. Secondary metabolites found in the structures of plants have different biological activities such as antioxidant, antimicrobial, antihelminth, toxicity, cytotoxicity, and antitumor. These metabolites in their structures are divided into 3 main groups as phenolics, alkaloids and terpenoids. More than 8,000 polyphenols have been isolated from different parts of plants.

Phenolic compounds and flavonoids are the most important members of the natural antioxidant group. Phenolic compounds in foods protect substances against oxidation. They neutralize these oxidants by scavenging, repairing, extinguishing and breaking chain reactions. Antioxidants inhibit the harmful effects of free radicals, which occur as metabolic by-products, inside the cell. Free radicals are agents with one or more unpaired electrons. They are unstable due to their unpaired electrons and they damage the cell by binding to different structures in the cell. There is a balance between antioxidants and free radicals. Disruption of this balance can lead to the emergence of cancer, diabetes and neurodegenerative diseases. Synthetic antioxidants are used in many fields, especially in food technology. Although these antioxidants are less costly, stable and effective, their side effects are considerably higher than natural antioxidants.

Therefore, there is a search for natural antioxidants from plants. This study, it was aimed to determine the antioxidant activity and substance content of the underground methanol extract of the *Crocus cancellatus* subsp. *lycius* species distributed in Muğla. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Iron Reducing Antioxidant Power (FRAP) and Copper Reducing Antioxidant Power (CUPRAC) methods were used to determine the antioxidant activity. The amount of total phenolic and flavonoid substances was determined. DPPH free radical scavenging activity, the IC<sub>50</sub> value of underground methanol extract were determined as 1.11±0.01 mg/mL. In terms of copper (II) ion reducing power of 1 mg/mL underground methanol extract, it showed antioxidant activity at 1.33±0.07 mg TE/g extract. It was determined that 1 mg/mL underground methanol extract showed antioxidant activity of 0.46±0.003 mg TE/g extract in terms of iron (III) ion reducing power.

The total amount of phenolic substance in 1 mg/mL underground methanol extract was found to be 0.59±0.02 mg GAE/g extract. The total amount of flavonoid substance in 1 mg/mL underground methanol extract was found to be 0.19±0.007 mg QE/g extract. The data obtained in the use of the plant for pharmaceutical purposes will contribute.

---

## НАКОПЛЕНИЕ ПРОЛИНА И АКТИВНОСТЬ ПРОЛИНДЕГИДРОГЕНАЗЫ В ПРОРОСТКАХ ОГУРЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН КОНЬЮГАТАМИ ХИТОЗАНА С ОКСИКОРИЧНЫМИ КИСЛОТАМИ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

Овчинников И.А., Николайчук В.В.\*, Недведь Е.Л., Калацкая Ж.Н.

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, igor-1606@mail.ru

\*Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск

Химическая модификация хитозана с введением новых функциональных групп и заместителей, в частности, фенольных соединений, позволяет получать композиты с повышенной растворимостью и антиоксидантной активностью, а оценка их потенциала в качестве индукторов устойчивости растений к стрессам – перспективное направление современных исследований. Цель данной работы заключалась в изучении влияния обработки семян огурца конъюгатами хитозана с оксикоричными кислотами на устойчивость проростков огурца к солевому стрессу. Конъюгаты хитозана (30кДа) и оксикоричных кислот в концентрации 10 мкМ (кофейной и феруловой) получали карбодиимидным методом. Семена огурца (*Cucumis sativus* L.), сорт Малышок обрабатывали 1%-ными водными растворами конъюгатов путем их механического перемешивания из расчета 20 мкл на 1г. Контролем служили необработанные семена. Проростки огурца выращивали рулонным способом в условиях искусственного освещения (14 ч света / 10 ч темноты) до 7-дневного возраста. Солевой стресс создавали, помещая рулоны с семенами огурца в 100мМ раствор хлорида натрия на весь период выращивания. В оптимальных условиях растения выращивали на дистиллированной воде.

Максимальное содержание пролина в семядольных листьях контрольного варианта регистрировали к 7-ым суткам при действии NaCl – на 40% выше, чем в бесстрессовом контроле. При обработке семян конъюгатами хитозана с феруловой (X<sub>30</sub>-ФК) и кофейной кислотой (X<sub>30</sub>-КК) в условиях солевого стресса на 3-е сутки содержание пролина увеличивалось на 21 и 15% относительно стрессового контроля, тогда как в дальнейшем наблюдали снижение данного показателя на 34 и 25% (5-е сутки) и на 13 и 28% (7-е сутки) соответственно. Пролиндегидрогеназа (ПДГ) [1.5.5.2] катализирует первый этап превращения пролина в глутаминовую кислоту, при этом деградация пролина сопровождается синтезом АТФ. Оценка изменения активности ПДГ в семядольных листьях проростков показала, что на протяжении всего периода выращивания ее активность в контрольном варианте не изменялась в оптимальных и стрессовых условиях выращивания на фоне значительного возрастания уровня пролина при действии солевого стресса. При обработке X<sub>30</sub>-КК регистрировали повышение активности ПДГ в течение всего периода, наиболее значительно активность возрастала на 5-е сутки – на 40% относительно стрессового контроля. В варианте X<sub>30</sub>-ФК также отмечали существенное увеличение активности до 50% на 5-е сутки по сравнению со стрессовым контролем. При этом уровень пролина в стрессовых условиях был ниже контрольного в период 5-х и 7-х суток при обработке X<sub>30</sub>-ФК и X<sub>30</sub>-КК. Необходимо отметить, что в условиях длительного стрессового воздействия при обработке конъюгатами отмечали их стимулирующее действие на рост проростков на 3-5 сутки по сравнению со стрессовым контролем.

Таким образом, при обработке конъюгатами индукция деградации пролина в клетках семядолей за счет повышения активности ПДГ в условиях стресса может быть связана с переключением в катаболический режим для поддержания клеточного уровня энергии, направленного на активацию ростовых процессов проростков.

## ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРАВИЛАТА РЕЧНОГО (*GEUM RIVALE* L.)

Орлова А.А.<sup>1</sup>, Кисель Э.В.<sup>2,3</sup>, Мешалкина Д.А.<sup>2</sup>, Цветкова Е.В.<sup>2</sup>, Фролов А.А.<sup>2,3</sup>,  
Повыдыш М.Н.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ИФР РАН, Москва, anastasiya.lebedkova@spcpu.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт биохимии растений им. Лейбница, Халле, Германия

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России, Санкт-Петербург

Гравилат речной (*Geum rivale* L.) – широко распространенный на территории Российской Федерации представитель семейства Розовые (*Rosaceae*). Гравилат активно применяется в традиционной медицине в качестве противовоспалительного, антисептического и вяжущего средства. Исходя из имеющихся литературных данных известно, что растения рода Гравилат, в том числе и исследуемый вид, содержат широкий спектр метаболитов полифенольной природы.

На сегодняшний день известно, что окислительный стресс является основным патогенетическим фактором целого ряда заболеваний, в том числе социально значимых. Поэтому поиск средств, обладающих выраженной антиоксидантной активностью, не теряет актуальности. В ряде экспериментов показано, что полифенольные соединения, являясь одной из наиболее распространенной групп вторичных метаболитов растений, проявляют выраженный антиоксидантный эффект, поэтому интерес к изысканию новых молекул данной группы и путей их использования в качестве лекарственных средств, биологически активных и пищевых добавок с каждым годом лишь возрастает.

В ходе изучения состава вторичных метаболитов гравилата речного с использованием ряда хроматографических методов анализа (высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ)) было установлено, что доминантной группой метаболитов надземной и подземной частей вида являются полифенольные соединения. С использованием масс-спектрометрии и тандемной масс-спектрометрии в экстрактах было предварительно идентифицировано около 20 метаболитов исследуемой группы. Ряд соединений, в том числе изорамнетин-3-*O*-β-*D*-глюкуронид, кемпферол-3-*O*-β-*D*-глюкуронид, изорамнетин-бис-3,7-*O*-β-*D*-глюкуронид, кемпферол-бис-3,7-*O*-β-*D*-глюкуронид, 6''-(4-гидроксициннамоил)астрагалин, кофеил яблочная кислота, эллаговая кислота и 3-*O*-метилэллаговая кислота были выделены в индивидуальном виде и установлена их структура с использованием метода ЯМР-спектроскопии [1]. Была проведена оценка абсолютного содержания выделенных компонентов с использованием метода тандемной масс-спектрометрии высокого разрешения [2].

При последующей оценке фармакологической активности экстрактов и индивидуальных соединений гравилата речного показано отсутствие антинейродегенеративной и нейропротекторной активности на моделях болезни Альцгеймера и болезни Паркинсона. Одновременно с этим было выявлено наличие антимикробной активности в отношении широкого спектра штаммов микроорганизмов, выраженная антиоксидантная и антигликирующая активности.

### Литература:

1. Orlova A.A. et al. Two new flavonol-bis-3,7-glucuronides from *Geum rivale* L. *Phytochemistry Letters*, 2021. Volume 42. P. 41-44
2. Kysil E.V. et al. Antioxidant properties of phenolic isolated from green parts of *Geum rivale*. The III International symposium 'Molecular aspects of plant redox metabolism'. The school for young scientists "The role of reactive oxygen species in plant life". 2021. P. 50-51.

---

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЯЗЫЧКОВЫХ И ТРУБЧАТЫХ ЦВЕТКАХ У ДВУХ СОРТОВ КАЛЕНДУЛЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ, *CALENDULA OFFICINALIS* L.

Осипов В.И., Хазиева Ф.М.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, ossipov@utu.fi

Календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.) является одним из важных видов лекарственных растений. В результате фитохимических и фармакологических исследований установлено, что одной из основных групп биологически активных соединений календулы являются фенолы. Соцветия календулы состоят из двух типов цветков. Внутренние трубчатые цветки, функционально мужские, имеют цвет от желтого до коричневого, а внешние женские язычковые цветки - от золотисто-желтого до оранжевого. Цель исследования заключалась в сравнительном изучении состава и относительного содержания фенольных соединений в язычковых и трубчатых цветках двух сортов календулы лекарственной «Золотое море» и «Райский сад». Для анализа фенольных соединений использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографию с диодным и масс-спектрометрическим детектором высокого разрешения (УЭЖХ-ДАД-МСВР), а также биоинформационные методы метаболомики растений.

В результате установлено, что в цветках календулы присутствует 17 соединений фенольной природы: 9 флавоноидов, 4 кофеилхинные кислоты и 2 производных п-кумаровой кислоты. Сравнение двух типов цветков показало, что трубчатые цветки обоих сортов содержат в 2-4 раза больше кофеилхинных кислот, чем язычковые цветки. Аналогичные результаты получены для деокси-фруктозил-фенилаланина, кверцетин-3-рутинозил-рамнозида, изокверцетрина и изорамнетин-3-рамнозил-(2-ацетилглюкозида), а также для три- и тетра-п-кумароилспермина. Более высокое содержание флавоноидов в трубчатых цветках варьировало в диапазоне от 1.2 до 100 раз. Сравнение цветков по общему содержанию фенольных соединений показало, что у сорта «Райский сад» трубчатые цветки содержат в 1.2 раза больше фенольных соединений, чем язычковые, а у сорта «Золотое море» различий между типами цветков не обнаружено.

Различия в содержании фенольных соединений у двух сортов календулы выражены в меньшей степени, чем между трубчатыми и язычковыми цветками. Сорт «Райский сад» содержал в язычковых цветках больше деокси-фруктозил-фенилаланина, кофеил-глюкарата и кверцетин-3-рутинозил-рамнозида, но меньше кофеилхинных кислот, изокверцетрина, кверцетин-3-рамнозил-глюкозида и изорамнетин-3-(6''-малонилглюкозида), чем сорт «Золотое море». Трубчатые цветки сорта «Райский сад», по сравнению с сортом «Золотое море», содержали больше кверцетин-3-рутинозил-рамнозида, изорамнетин-3-рутинозил-рамнозида, кверцетин-3-рамнозил-глюкозида, нарциссина и изорамнетин-3-(6''-малонилглюкозида) и меньше 3-О-кофеилхинной кислоты и кемпферол-3-глюкозид-рамнозида. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что сорт «Золотое море» содержит немного больше фенольных соединений, чем сорт «Райский сад». При этом, основной вклад в различие сортов вносили язычковые цветки.



---

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМ. OLEACEAE В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД НА ЮБК

Палий А.Е., Палий И.Н.

ФГБУН Никитский ботанический сад – ННЦ РАН, Ялта, onlabor@yandex.ru

Для южных регионов России характерно наступление засухи и экстремально высоких температур летом, а в зимнее время неравномерное выпадение осадков, колебания температуры воздуха, высокая вероятность провокационных оттепелей. Указанные климатические условия негативно сказываются на состоянии как плодовых, так и декоративных растений. В связи с этим выявление закономерностей адаптивных процессов на разных уровнях организации растительного организма позволит не только увеличить эффективность интродукционной работы, но и получить новые сведения о приспособительных механизмах видов, относящихся к различным экологическим группам. Важными протекторными соединениями растений являются фенольные вещества, они участвуют в основных процессах жизнедеятельности растительных клеток: фотосинтезе, дыхании, защите от действия стрессовых факторов.

Целью исследования являлось сравнительное изучение динамики накопления фенольных соединений в листьях представителей сем. Oleaceae в холодный период на Южном берегу Крыма.

В качестве объектов исследований выбраны представители семейств Oleaceae: *Olea europea* (сорта 'Никитская', 'Раццо', 'Асколяно', 'Кореджиоло' и подвид маслины европейской *O. europaea subsp. cuspidata*), а также виды рода *Ligustrum* (*L. compactum*, *L. lucidum*) и *Osmanthus* (*O. fortuniana* и *O. ×fortunei*). Для сортов и подвида *O. europea* предварительно была определена степень морозостойкости: морозостойкий сорт 'Никитская', слабоморозостойкие – 'Асколяно', 'Раццо', 'Кореджиоло' и подвид *O. europaea subsp. cuspidata*. Для анализа с коллекционных участков Никитского ботанического сада ежемесячно отбирали однолетние листья со средней части побегов в течение холодных периодов (октябрь-март) 2017-2020 г.

В результате проведенных исследований установлено, что в течение всего холодного периода 2017-2018 гг. изменения концентрации фенольных соединений происходили разнонаправлено и практически не зависели от степени морозостойкости исследуемых генотипов. Холодный период 2018-2019 гг. характеризовался максимальным уровнем концентрации фенольных веществ с ноября по март месяц у всех исследуемых генотипов в сравнении с холодными периодами 2017-2018 гг. и 2019-2020 гг. Самое низкое содержание фенольных веществ наблюдалось в октябре. Затем в ноябре происходило увеличение концентрации на 10-40%, особенно интенсивно она увеличивалась у сортов маслины 'Асколяно' и 'Раццо'. Далее содержание фенольных веществ мало изменялось у всех генотипов за исключением сорта 'Никитская', у которого наиболее высокие концентрации наблюдались в январе. В течение всего холодного периода 2019-2020 гг. максимальные концентрации фенольных соединений выявлены в листьях *O. europaea subsp. cuspidata*, *L. compactum* и *O. fortuniana*. У всех представителей семейства Oleaceae динамика накопления фенольных веществ характеризовалась двумя максимумами (декабрь и февраль), минимумом – в январе.

Анализ полученных данных показал, что накопление фенольных соединений в листьях представителей сем. Oleaceae зависит от погодных условий конкретного холодного периода. Генотипы с низкой морозостойкостью (*O. europaea subsp. cuspidata* и *Ligustrum compactum*) отличаются высокими концентрациями веществ фенольной природы, однако однозначной зависимости между изменением содержания фенольных соединений и степенью морозостойкости представителей сем. Oleaceae не выявлено.

---

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ БИОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЛОДОВ *ACTINIDIA KOLOMIKTA* (RUPR. ET MAXIM.) MAXIM И *ACTINIDIA POLYGAMA* (SIEBOLD ET ZUCC.) MAXIM

Панищева Д.В., Мотылева С.М., Козак Н. В.

ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства  
и питомниководства, Москва, pani-darya@yandex.ru

Производство натуральных продуктов, богатых биологически-активными соединениями, может минимизировать дефицит важнейших для организма человека микроэлементов и витаминов. Состав плодов растений рода *Actinidia Lindl.*, в особенности у морозостойких видов *Actinidia kolomikta* (Rupr. Et Maxim.) Maxim., *Actinidia arguta* (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq. и *Actinidia polygama* (Siebold et Zucc.) Maxim., обогащен антиоксидантами и полезными микронутриентами, благодаря чему эта нетрадиционная культура становится всё более популярной в мире.

Целью исследований является сравнительное изучение компонентного состава спиртовых экстрактов плодов 6 сортов *Actinidia kolomikta* (Чемпион, Лакомка, Сестра, Виноградная, Услада, Праздничная) и 6 сортов *Actinidia polygama* (Остропрямая, Целебная, Осенняя, Перчик, Узорчатая и Красна Девица) коллекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства для выявления лучших образцов с последующим вовлечением в селекцию.

Анализ состава низкомолекулярных метаболитов выполняли методом ГХ-МС на хроматографе JMS-Q1050GC («JEOL Ltd», Япония). Последующую идентификацию веществ осуществляли по параметрам удерживания и масс-спектрам библиотеки NIST-5 (National Institute of Standards and Technology, США).

Установлены различия в ГХ-МС профилях спиртовых экстрактов плодов и выявлены общие метаболиты и индивидуальные соединения, присущие представителям отдельных сортов актинидии.

Основными общими компонентами плодов актинидии были органические и жирные кислоты - Pyruvic, Acrylic, Lactic, Malic и Citric (обладающие антимикробным действием), Itaconic, Fumaric, Erythronic и Erythro-Pentonic. Обнаружены представители фенольных соединений – Cinnamic acid, Phtalic acid, Tirosol (природный фенольный антиоксидант), Phenylacetic acid, Benzoic acid. Обнаружены углеводы - 13 моносахаров (из которых 4 относятся к кетозам, 9 - к группе альдоз) и 2 дисахарида (Turanoze, Sucrose). К индивидуальным метаболитам можно отнести ликсозу, идентифицированную только в плодах *Actinidia polygama* и эритрозу, выявленную только в плодах сорта Целебная.

По общему количеству метаболитов выделились плоды образцов Узорчатая (43), Целебная (42), Чемпион (21) и Лакомка (19).

Установлено, что компонентный состав и биохимические показатели плодов актинидии зависят не только от вида, но, во многом, и от сорта. Плоды генотипов Чемпион и Лакомка вида *Actinidia kolomikta*, а также Целебная и Узорчатая вида *Actinidia polygama* являются наиболее перспективными для селекции, соответствующей целям нутрицевтики.

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *LAMIACEAE*

Пупыкина К.А., Красюк Е.В., Шайдуллина Г.Г.

ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России, Уфа,  
pupykinaka@gmail.com

Флора Республики Башкортостан богата и разнообразна, что обусловлено ее особым географическим расположением. Очень важно для успешного освоения растительных сообществ, сравнительное изучение особенностей роста, развития растений, накопления биологически активных веществ в онтогенезе в природных местообитаниях, а также в условиях интродукции ценных лекарственных растений. Высокая антропогенная нагрузка на экосистему в Башкортостане требует особого внимания к вопросам охраны природной среды и актуальным остается изучение биологических особенностей и химического состава близкородственных видов лекарственных растений, с целью расширения возможностей их использования в медицине.

Целью исследования являлось сравнительное изучение фенольных соединений представителей родов *Thymus* и *Monarda* семейства *Lamiaceae*.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали образцы сырья четырех видов тимьяна: тимьяна Маршалла, тимьяна ползучего, тимьяна Талиева, тимьяна башкирского, произрастающих на территории Республики Башкортостан, а также пяти видов монарды, интродуцированных в Южно-Уральском ботаническом саду-институте УФИЦ РАН: монарды дудчатой, монарды двойчатой, монарды гибридной, монарды лимонной, монарды Рассела, заготовленных в фазу цветения.

Результаты. В исследуемых образцах сырья с помощью качественных реакций и хроматографического метода анализа установили присутствие флавоноидов и дубильных веществ конденсированной природы. Следующим этапом было определение количественного содержания данных групп биологически активных веществ в растительном сырье: флавоноиды определяли методом дифференциальной спектрофотометрии, дубильные вещества – методом окислительно-восстановительного титрования [1] (табл. 1).

Таблица 1. Показатели содержания фенольных соединений в исследуемых образцах сырья

Исследуемый объект	Флавоноиды в пересчете на лютеолин, %	Дубильные вещества, %
Трава <i>Thymi Marschallianus</i>	1,92 ± 0,02	7,89 ± 0,32
Трава <i>Thymi serpyllum</i>	1,63 ± 0,02	10,45 ± 0,52
Трава <i>Thymi bashkiriensis</i>	1,74 ± 0,04	8,12 ± 0,49
Трава <i>Thymi Talijevi</i>	1,13 ± 0,02	7,15 ± 0,36
Трава <i>Monarda fistulosa</i>	1,57 ± 0,01	7,83 ± 0,26
Трава <i>Monarda didyma</i>	1,65 ± 0,02	9,44 ± 0,46
Трава <i>Monarda hybrida</i>	1,52 ± 0,03	9,05 ± 0,32
Трава <i>Monarda citriodora</i>	1,61 ± 0,02	5,42 ± 0,36
Трава <i>Monarda hybrida</i>	0,90 ± 0,03	8,23 ± 0,19

Выводы. Установлено, что наибольшее содержание флавоноидов среди видов тимьяна отмечается в тимьяне Маршалла, среди видов монарды - в монарде двойчатой, а наименьшее – в тимьяне Талиева, монарде Рассела. По накоплению дубильных веществ лидирует среди видов тимьяна – тимьян Маршалла, среди видов монарды – монарда двойчатая, а наименьшее – в тимьяне Талиева и монарде лимонной.

Литература:

1. Государственная Фармакопея Российской Федерации, XIV издание, Том IV. Лекарственное растительное сырье. М.: «Медицина», 2018. 6074-6083, 6622-6633, 6599-6605 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>.

## ПОЛИФЕНОЛЫ STARAEGUS PONTICA.K.KOCH

Раимова К.В., Абдулладжанова Н.Г., Матчанов А.Д.

Институт биоорганической химии им. акад. А.С.Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан,  
k.raimova\_81@mail.ru

Боярышник – известное пищевое и лекарственное растение. Плоды, цветы, листья боярышника обладают антиоксидантными свойствами благодаря наличию в них фенольных соединений. Среди важнейших классов природных соединений, обуславливающих лечебный эффект лекарственных растений, значительное место занимают полифенолы. Поэтому поиск растений, содержащих полифенолы, разработка методов их выделения, установление их химической структуры и изучение зависимости биологической активности от химической структуры, с целью создания новых эффективных лекарственных средств является важной и актуальной проблемой современной биоорганической химии. Были изучены полифенолы листьев *Crataegus pontica K.Koch.*, произрастающего в горных районах Республики Узбекистан. Показано, что оптимальное содержание полифенолов экстрагируется 70%-ным ацетоном с последующим фракционированием водного остатка этилацетатом и осаждением гексаном, выход суммы полифенолов составил 4.28% от воздушно-сухой массы сырья. Сумму полифенолов разделяли на полиамидной колонке с использованием в качестве элюента хлороформ-метанол в различных соотношениях (10:1→3:1). С помощью физико-химических методов установлены структуры выделенных соединений. В процессе изучения фенольных соединений листьев *S. pontica* установлено, что в составе полифенолов кроме известных соединений как галловая кислота, кверцетин-3-рутинозид, гиперозид, кверцетин, 2-(3,4-диметоксифенил)-7-метокси-3,4-дигидро-2H-хромен-3,4,5,6-тетрол, апигенин-6-С-гликозид содержатся две новые, ранее не описанные в литературе вещества. С помощью физико-химических и спектральных данных установлена структура этих соединений.

Вещество 1 - желтый аморфный порошок,  $C_{14}H_{14}O_9C_{48}H_{32}O_{31}$ ,  $M_r = 620$ ,  $R_f 0.42$  (система: н-бутанол-уксусная кислота-вода 4:1:5). УФ-спектр (EtOH,  $\lambda_{max}$ , нм): 250, 275. В ИК- ( $\nu_{max}$ ,  $KBr$ ,  $cm^{-1}$ ) спектре имеются полосы поглощения в области  $3345-3350\ cm^{-1}$  (ОН),  $1710-1730\ cm^{-1}$  (-COO-),  $1510-1620\ cm^{-1}$  (аром. кольцо),  $1010-1020\ cm^{-1}$  (сахарная часть).

Анализ ЯМР  $^{13}C$ -спектров C-1, C-3, C-5 (92.5, 75.2, 73.1 м.д., соответственно) глюкозы показывает, что аномерный центр имеет  $\beta$ -конфигурацию. Химические сдвиги атомов C-1 и C-4 глюкозы при 93.77 и 71.80 м.д. соответственно, подтверждают, что в них ОН группы замещены. Сигналы углеродных атомов C-2 и C-6, а также C-3, C-4 и C-5 совпадают и дают относительно интенсивные сигналы при 110.3, 110.6 и 146.0, 146.4 и 146.5 м.д., соответственно. В спектре ЯМР  $^{13}C$  присутствуют сигнал углеродных атомов карбонильной группы при 166.2 м.д. Интенсивные сигналы при 123.5 м.д. относятся к C-1 углеродному атому галловой кислоты. Эти данные подтверждаются данными масс-спектрометрического распада вещества, полученного на приборе LC-MS Q-TOF при отрицательной ионизации. Молекулярный ион вещества 1 с  $m/z$  619 расщепляется на три фрагмента с  $m/z$  289, 178 и 153. Это указывает на разрыв сложноэфирной связи между глюкозой и галлоильной группой, который и согласуется с литературными данными. На основании анализа спектральных констант и сравнения их с литературными данными установлено, что вещество 1 является 1-О-галлоил-4-О-катехин- $\beta$ -D-глюкозой.

Вещество 2-- аморфный порошок белого цвета  $C_{14}H_{14}O_9$ ,  $MS\ m/z$ : 325 [M-H]-,  $R_f 0.40$  (система -1). УФ-спектр (EtOH,  $\lambda_{max}$ , нм): 220, 280, ИК спектр ( $\nu_{max}$ ,  $KBr$ ,  $cm^{-1}$ ): 3271 (ОН), 2964 ( $CH_2$ ), 1717 (-COO-), 1715 (C=O), 872 -567 (аром. кольцо). На основании анализа спектральных констант и сравнения их с литературными данными установлено, что вещество 2 является сложным эфир кофейной кислоты с 2,3-дигидроксиглутаровой кислотой.

---

## УФ-ИНДУЦИРОВАННЫЙ МЕЛАНИН И ЕГО ФЕНОЛЬНЫЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКИ В ЛИШАЙНИКЕ *LOBARIA PULMONARIA*

**Рассабина А.Е., Хабибрахманова В.Р., Гурьянов О.П., Минибаева Ф.В.**

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, AERassabina@yandex.ru

В последнее время большое внимание уделяется экстремофильным организмам лишайникам. Их способность выживать в неблагоприятных условиях обуславливается наличием целого ряда вторичных метаболитов, в частности меланинов. Меланины представляют собой высокомолекулярные продукты конденсации фенольных соединений. В зависимости от путей биосинтеза различают эумеланины, алломеланины, пиомеланины и другие. Известно, что в лишайниках синтез меланинов может индуцироваться воздействием УФ излучения. В связи с этим, представляет интерес анализ фенольных предшественников меланинов в условиях УФ-индуцированной меланизации. Целью настоящей работы явилось изучение количественного и качественного состава фенольных соединений в меланизированном талломе лишайника *Lobaria pulmonaria* и анализ физико-химических свойств экстрагированного меланина. Было показано, что количество спирторастворимых фенольных соединений в меланизированном талломе возрастает в 1,5 раза по сравнению с таковым в немеланизированном талломе, в то время как количество водорастворимых фенольных соединений не меняется. Качественный анализ фенольных соединений с помощью ВЭТСХ и ВЭЖХ выявил наличие фенольных соединений разных классов, в том числе простых фенолов, фенолкарбоновых кислот и сложных полифенолов.

Пигмент меланин был получен методом щелочной экстракции с последующим кислотным осаждением и последовательной промывкой водой и органическими растворителями. Установлено, что меланин, экстрагированный из лишайника *L. pulmonaria*, содержит С 49 %, Н 6 %, О 40 %, N 4 %. Анализ структуры с помощью ИК- и ЯМР-спектроскопии выявил, что меланин представляет собой сложный полимер, состоящий из пиррольных и индольных фрагментов, содержащих различные функциональные группы. Кроме того, было показано, что наличие гидроксильных и карбоксильных групп способствует образованию комплексов меланина со структурными полисахаридами и белками. Обнаружена высокая антирадикальная и антиоксидантная активность фенольных экстрактов и меланина лишайника *L. pulmonaria*. Полученные данные свидетельствуют о том, что в талломе лишайника УФ облучение индуцирует биосинтез меланина и его разнообразных фенольных предшественников. Эти фенольные метаболиты, проявляя фотопротекторные и антиоксидантные свойства, защищают лишайники от губительного действия УФ радиации. Можно полагать, что синтетические аналоги меланинов лишайников представляют интерес для использования в медицине, косметологии, нутрицевтике и материаловедении.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН, а также при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-34-90044 (спектральный анализ), гранта РНФ № 18-14-00198 (антиоксидантная активность).



---

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЛАВОНОИДНОГО СОСТАВА МЕЛКОПЛОДНЫХ ДИКИХ ЯБЛОНЬ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Рудиковская Е.Г., Дударева Л.В., Ставицкая З.О., Ванина Л.С., Рудиковский А.В.

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск  
ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва,  
rudal69@mail.ru

Проведен сравнительный анализ состава и содержания флавоноидных соединений (ФС) в плодах четырёх диких видов *Malus*: *Malus baccata*, *Malus manshurica*, *Malus chamardabanica*, *Malus sachalinensis*, выращенных на территории Ботанического сада биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Общее содержание ФС измерялось спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина-Дениса (Hitachi U-1100 Spectrophotometer, Japan). Индивидуальные компоненты анализировались методами ВЭЖХ (Shimadzu LC – 10 ATvp, Japan) и ГХ-МС (5973/6890N MSD/DS Agilent Technology, USA).

Установлено, что ткани плодов изученных видов в целом имели качественный состав ФС, характерный для рода *Malus*. Тем не менее, между видами были обнаружены количественные различия в содержании отдельных ФС.

Плоды яблони сибирской и хамардабанской имели ряд общих черт: низкое содержание флаван-3-олов - (+)-катехина и (-)-эпикатехина, отсутствие характерного для рода процианидина В2. При этом ткани плодов накапливали довольно высокое содержание хлорогеновой кислоты (более 700 мкг/г сухой массы). Особенностью яблони сибирской было высокое содержание кофейной кислоты ( $537.5 \pm 182.6$  мкг/г).

Хотя в тканях плодов всех исследованных видов были обнаружены антоцианы, наибольшее их содержание наблюдалось у яблонь хамардабанской (более 30%) и сибирской (более 20%) от общего содержания ФС.

В тканях плодов яблони сахалинской, так же не было обнаружено процианидина В2, но содержание (+)-катехина и (-)-эпикатехина оказалось на порядок выше ( $33.462 \pm 12.4$  и  $122.96 \pm 18.0$  мкг/г сухой массы соответственно), чем и у сибирской и хамардабанской. Характерной чертой тканей плодов яблони сахалинской оказалось высокое содержание халконов (флоритина и его гликозида флоридзина) – более 50% от общего содержания ФС.

Единственным, из исследованных, видов с высоким содержанием в плодах флаванов (около 80% от общих ФС) оказалась яблоня маньчжурская. При этом около 20% из них приходится на процианидин В2, не обнаруженный в тканях плодов других яблонь. Содержание всех остальных флавоноидов (гликозидов кверцетина, антоцианов и фенолкабоновых кислот) был значительно ниже, чем в других исследованных видах.

Известно, что сибирские виды яблони используются в тибетской медицине как замена *Emblica officinalis* под названием «чжу-ру-ра». При этом, результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать все исследованные виды мелкоплодных яблонь азиатской части России для дальнейших фармакологических исследований с целью использования их в комплексной терапии диабета 2 типа, заболеваний кишечника и старческих когнитивных расстройств.

Кроме того, в связи с существенными отличиями в ФС исследованных яблонь, полученные данные могут являться отправной точкой для исследования особенностей хемосистематики дикорастущих представителей рода *Malus*.

---

## ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА, СИНТЕЗИРУЮЩИХ РЕЗВЕРАТРОЛ

Рукавцова Е.Б., Алексеева В.В., Тарлачков С.В., Ермошин А.А.\*, Захарченко Н.С.  
Филиал ФГБУН Института биорганической химии им. академиков М.М. Шемякина  
и Ю.А. Овчинникова РАН, Пущино, ruk@bibch.ru

\*ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Растения являются удобной, безопасной и экономически выгодной альтернативой для продукции различных метаболитов по сравнению с системами экспрессии на основе микроорганизмов, культур животных клеток или трансгенных животных. Одним из ценных метаболитов некоторых растений, в частности, винограда, является резвератрол (3,5,4'-тригидроксистильбен). Синтез резвератрола в клетках растений происходит по фенилпропаноидному пути и регулируется ферментом стильбенсинтазой. Нами выделен ген стильбенсинтазы *VlvSTS* гибрида винограда *Vitis labrusca* x *Vitis vinifera* L. Изабелла (GenBank OK626589.1) и клонирован в вектор для трансформации растений pSS под контроль промотора CaMV 35S. Получены и проанализированы несколько трансгенных линий растений табака, содержащих ген *VlvSTS*.

Впервые показано, что растения с экспрессией гена *VlvSTS* проявляли повышенную устойчивость к бактериальному патогену *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* B15. Проведен анализ устойчивости трансгенных растений к ряду грибных фитопатогенов. Растения были более устойчивы к серой гнили *Botrytis cinerea*, но не к грибам *Fusarium oxysporum*, *F. sporotrichioides* и *F. culmorum*.

С помощью хромато-масс-спектрометрического анализа показано, что синтез трансрезвератрола в растениях с наибольшей экспрессией гена *VlvSTS* составил 150-170 мкг/г сырой биомассы листьев. Растения с наибольшей экспрессией гена *VlvSTS* были высажены в закрытый грунт для получения семян. Проведено изучение влияния гена на репродуктивные свойства растений и морфологию цветков. Проанализировано изменение окраски и уменьшение количества антоцианов в венчиках цветков у растений трансгенных линий с наибольшей экспрессией гена *VlvSTS*. Повышенная экспрессия гена стильбенсинтазы приводила к уменьшению пигментации венчиков в трансгенных растениях. У растений табака с наибольшей экспрессией гена *STS*, бутоны и незрелые цветки имели белую окраску и лишь в процессе созревания цветка приобретали слабо-розовую пигментацию. Показано уменьшение количества антоцианов в венчиках цветков трансгенных растений до 52% от уровня антоцианов в венчиках контрольных цветков, что может быть результатом конкуренции за субстрат между ферментами стильбенсинтазой и халконсинтазой. Выявлено снижение общей суммы флавоноидов в лепестках цветков (на 24-26% по сравнению с контролем), но не в листьях полученных линий табака. Повышенная экспрессия гена *VlvSTS* повлияла на развитие пыльцы трансгенных растений и их семенную продуктивность. Произошло увеличение размера пыльцевых зерен, однако уменьшилось их общее количество в пыльниках цветков. Наблюдалось уменьшение веса семенных коробочек трансгенных растений.

Известно, что снижение уровня флавоноидов может влиять как на окраску цветков трансгенных растений, так и на образование пыльцы, вплоть до появления растений с мужской стерильностью. Данное свойство гена стильбенсинтазы может быть полезно для получения более безопасных трансгенных растений, неспособных к перепылению с дикорастущими видами.

---

## ОСОБЕННОСТИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ ИОННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ

Рыбинская Е.И., Герасимович К.М., Пронина Д.А., Красковский А.Н.\*  
Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича, Минск, Беларусь,  
kate.rybinskaya@gmail.com

\*Институт химии новых материалов, Минск, Беларусь

Оксикоричные (гидроксикоричные) кислоты относятся к фенилпропаноидам (С6-С3 ряд) и являются предшественниками большинства фенольных соединений, которые регулируют защитные ответы растений. Экзогенные оксикоричные кислоты (ОКК) имеют биологическую активность и оказывают влияние на рост и развитие растений, однако они труднорастворимы в воде, что снижает их биодоступность. Комбинирование ОКК в виде анионов с катионом холина с образованием ионных жидкостей является перспективной альтернативой применения ОКК, поскольку ионные жидкости обладают более высокой растворимостью в воде, антиоксидантной активностью и противовоспалительными свойствами, при этом не меняется их токсичность [1].

Целью данной работы было изучение влияния обработки семян озимой пшеницы ионными жидкостями кофейной кислоты (ИЖ КК) на динамику прорастания, всхожесть и биометрические показатели. ИЖ КК синтезировали путем нейтрализации гидрокарбоната холина кофейной кислотой. Полученная ИЖ (холина кофеат) полностью растворима в воде.

Объектом исследования служили проростки озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта «Августина». Обработку семян проводили путем их механического перемешивания в исследуемых растворах в объеме 400 мкл на 20 г семян до равномерного распределения раствора по их поверхности, после чего семена выдерживали при комнатной температуре в течение 24 ч, контролем служили необработанные семена. Затем семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной дистиллированной водой, в течение 7 суток в термостате при температуре 21°C.

Предварительный скрининг влияния ИЖ КК в диапазоне концентраций 0,1 - 10 мМ на биометрические показатели проростков озимой пшеницы позволил выбрать наиболее эффективную концентрацию – 10 мМ. При действии данной концентрации ИЖ КК отмечали увеличение длины и массы проростков. В дальнейшем проводили сравнительную оценку влияния ИЖ КК и кофейной кислоты (КК) в концентрации 10 мМ на начальные этапы роста проростков озимой пшеницы.

Наблюдение за динамикой прорастания при обработке посевного материала показало, что в вариантах с использованием ИЖ КК количество проросших семян через 48 и 72 ч (энергия прорастания) превышало контроль на 39 и 10% соответственно. В варианте КК регистрировали аналогичные изменения – на 16 и 12% относительно контроля. Однако всхожесть семян при использовании КК была ниже на 14% относительно контроля. Обработка семян пшеницы ИЖ КК оказывала наиболее эффективное действие и на биометрические параметры проростков: отмечали достоверное увеличение длины корней (на 8%) и сухой массы корней (на 24%) по сравнению с КК.

Таким образом, сравнительный анализ влияния обработки семян ИЖ КК и КК показал повышение эффективности действия ИЖ КК, что проявлялось в ускорении прорастания семян, увеличении всхожести, массы и длины корней проростков озимой пшеницы в оптимальных условиях выращивания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, грант № Б21УЗБГ-019.*

### Литература:

1. Sintra T, Luís A, Rocha S, Ferreira Lobo A, Gonçalves F, Santos L, Coutinho J. Enhancing the antioxidant characteristics of phenolic acids by their conversion into cholinium salts. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2015;3 (10):2558–2565.

---

## АНТОЦИАНЫ КОСТЯНИКИ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ РАСТЕНИЙ

Скрыпников Н.С., Добродомова Д.Е., Саласина Я.Ю.

ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Белгород, nickskrypnikov@gmail.com

Антоцианы относятся к классу водорастворимых флавоноидов. Они широко распространены в природе: они содержатся в плодах, лепестках цветков, корнях, стеблях и листьях растений и придают им характерную окраску. Антоцианы являются гликозидами антоцианидинов, которые могут быть дополнительно ацилированы некоторыми алифатическими и ароматическими кислотами. Выделяют шесть наиболее распространенных природных антоцианидинов - агликонов антоцианов: цианидин, дельфинидин, пеларгонидин, пеонидин, петунидин и мальвидин.

Антоцианы широко используются в качестве натуральных пищевых красителей. Известно их использование при крашении волос и тканей и даже достаточно неожиданное применение в качестве сенсibilизаторов в солнечных элементах. Кроме этого, антоцианы являются нутрицевтиками, так как они оказывают благоприятное воздействие на здоровье человека. Вероятно, наиболее известно использование антоцианов для профилактики и лечения офтальмологических заболеваний. Способность к противодействию окислительному стрессу, антимикробные свойства, защита от возникновения и прогрессирования нейродегенеративных, сердечно-сосудистых, метаболических заболеваний и рака обуславливают фармакологический потенциал этих соединений. Этим объясняется, так называемый, «французский парадокс» – относительно низкая заболеваемость сердечно-сосудистой системы при традиционно жирной диете у французов благодаря также традиционному умеренному употреблению сухого красного вина. Отметим, что не известны сообщения о негативном влиянии производных антоцианов даже после приема внутрь очень высоких доз.

В данной работе был проведен качественный и количественный анализ следующих источников антоцианов: ягоды костяники (*Rubus saxatilis* L.), кожура плодов личи (*Litchi* Sonn.) и кожура плодов мангостана (*Garcinia mangostana* L.).

Для экстракции антоцианов использовали мацерацию растительного материала в водном растворе соляной кислоты с концентрацией 0.1 моль/л. Такая кислотность обеспечивает перевод всех форм в наиболее устойчивую – окрашенную флавилиевую форму, что позволяет определять концентрацию антоцианов в пересчете на некий антоциан (в работе пересчет вели на цианидин-3-глюкозида хлорид) спектрофотометрическим методом. Выдержка в течение суток необходима для полного перевода во флавилиевую всех форм, включая медленно превращающуюся *транс*-халконную форму. Методом обращенно-фазовой ВЭЖХ был идентифицирован антоциановый состав ряда исследованных объектов. Так, например, основной антоциан ягод костяники – пеларгонидин-3-рутинозид (около 86% по площадям пиков), в меньших количествах были обнаружены пеларгонидин-3-глюкозид (6%) и цианидин-3-рутинозид (6%). В кожуре плодов личи (в плане разработки методов переработки отходов растительного происхождения для совместной работы с коллегами из Вьетнама) найдены цианидин-3-рутинозид (80%) и цианидин-3-глюкозид (15%). В кожуре плодов мангостана были найдены цианидин-3-софорозид (89%) и цианидин-3-глюкозид (6%).

С использованием метода спектрофотометрии были выполнены количественные определения антоцианов в анализируемых объектах (в пересчете на цианидин-3-глюкозида хлорид). Было установлено, что в плодах костяники содержится 76,1 мг антоцианов на 100 г свежего материала, а кожура взятых для анализа плодов личи и мангостина содержит 56,3 мг/100 г и 361 мг/100 г антоцианов, соответственно, даже после длительного хранения при комнатных условиях.

---

## **ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ И ГИДРОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ НА ФОНЕ ЗАРАЖЕНИЯ ФИТОФТОРОЙ**

**Смирнов А.А., Кабачевская Е.М.**

ГНУ Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, aasm96@bk.ru

Фенольные соединения являются обязательными компонентами для роста и развития растительного организма. Известна также и их ключевая роль в развитии защитных ответов на действие целого ряда факторов биотической природы – практически все экосистемы содержат большое разнообразие бактерий, вирусов, грибов, нематод, клещей, насекомых и других организмов, которые оказывают непосредственное, часто пагубное, влияние на растения.

Картофель – одна из самых востребованных сельскохозяйственных культур в мире. В мировой экономике картофель занимает 4 место по объему производства, уступая только кукурузе, рису и пшенице. Инфекционные заболевания картофеля наносят ущерб его урожайности, что сказывается на развитии сельского хозяйства во всех странах мира. Одной из самых опасных и разорительных для данной культуры патологий является фитофтороз. Несмотря на развитие профилактических и прямых мер борьбы с фитофторозом, сильные вспышки болезни с потерями 30—50% урожая наблюдаются в разных регионах через каждые 2-3 года.

Антиоксидантные свойства различных групп полифенолов (ПФ), таких, например, как гидроксикоричные кислоты (ГКК), делают их интересным предметом для изучения в контексте их вовлеченности в функционирование механизмов устойчивости растительных организмов.

Целью настоящего исследования было изучение динамики общего содержания ПФ и ГКК в тканях листьев картофеля в условиях заражения фитофторозом.

Предварительно были оптимизированы методики определения суммарного количества ПФ и ГКК в тканях листьев картофеля, проведен подбор эффективных параметров для их экстракции, а именно, времени и концентрации используемого спирта.

В результате анализа динамики изменений общего содержания ПФ и ГКК в тканях листьев картофеля в течение 3 дней заражения фитофторозом были выявлены статистически достоверные различия в их количестве в контрольных (без заражения) и опытных (зараженных) образцах. Для проверки статистической значимости различий использовался непараметрический критерий Манна-Уитни.

В первый день заражения суммарное количество ПФ в опытных образцах в сравнении с контролем было выше на 21,48%, во второй день – на 23,1%. На третий день заражения статистически достоверных различий не наблюдалось. Аналогичная тенденция была обнаружена и в отношении динамики суммарного количества ГКК. В первый день заражения суммарное количество ГКК было выше на 38,3% в опытных образцах в сравнении с контролем, во второй день на 42,6%, в третий – на 7,52%.

На основании полученных результатов был сделан вывод, что заражение тканей листьев картофеля приводит к накоплению общего содержания ПФ (1, 2 сутки заражения) и ГКК (1–3 сутки), что может являться частью защитного ответа растительного организма на действие фитопатогена.



---

## ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ, БОГАТЫХ ФЕНОЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Соболева А.В.<sup>1,2,3,4</sup>, Ларина В.В.<sup>4</sup>, Черевацкая М.А.<sup>1</sup>, Повыдыш М.Н.<sup>5</sup>, Сухих С.А.<sup>4</sup>,  
Фролов А.А.<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный университет, st021585@student.spbu.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

<sup>3</sup>Институт биохимии растений имени Лейбница, г. Галле, Германия

<sup>4</sup>ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

<sup>5</sup>ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Минздрава РФ, Санкт-Петербург

Фенольные соединения лекарственных растений обладают антиоксидантной, антигликирующей, противовоспалительной, антимикробной, антинейродегенеративной и иммуномодулирующей активностью. Однако стоит отметить, что очень немногие растения характеризуются одновременно всеми перечисленными свойствами. Не выявлены природные соединения растений, для которых все эти эффекты подтверждены, а взаимосвязь этого комплекса свойств растительных экстрактов недостаточно хорошо изучена, и механизмы, лежащие в основе противовоспалительного, антигликирующего и нейропротекторного действия, в основном, неизвестны (в отличие от относительно хорошо изученных антиоксидантных свойств). Целью данной работы является создание биологически активного комплекса, обладающего одновременно антигликирующими, противовоспалительными, антиоксидантными и антинейродегенеративными свойствами. Этот комплекс может быть введен в состав пищи для получения функциональных продуктов питания с новыми характеристиками. Для изучения комбинированных свойств лекарственных растений Калининградской области были получены водные экстракты *Alnus incana* (шишки), *Sedum acrae*, *Valeriana officinalis* (корень) и водно-этанольные экстракты (40-70 %) *Agrimonia eupatoria*, *Artemisia absinthium*, *Potentilla erecta*, *Filipendula ulmaria L. Maxim.*, *Viscum album*, *Comarum palustre*, *Artemisia vulgaris*, *Solidago virgaurea*, *Calluna vulgaris*, *Lamium album*. Анализ метаболома полученных экстрактов проводили методом обратно фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (RP-HPLC), совмещенной в режиме онлайн с квадрупольной времяпролетной масс-спектрометрией (QqTOF-MS). Мажорные компоненты экстрактов были аннотированы с помощью тандемной масс-спектрометрии (MS/MS) и поиска в спектральных библиотеках в контексте имеющихся литературных данных.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-76-10055.*

---

## АНТОЦИАНЫ И БЕТАЛАИНЫ: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ

Степанова Д.В.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, stepanovad02@mail.ru

Антоцианы и беталаины – классы синтезируемых растениями пигментов, накапливающихся в вакуолях растений. Эти вещества являются водорастворимыми гетероциклическими соединениями, гликозидами, обладающими антиоксидантными свойствами. Их присутствие у высших растений взаимоисключающее. Беталаины имеют ограниченное распространение у высших растений – только в порядке Caryophyllales, а выделять этот класс природных пигментов стали со второй половины XX века. Антоцианы придают тканям растений диапазон разных оттенков красного, синего и фиолетового. Класс беталаинов содержит бетаксантины, обуславливающие жёлтую или оранжевую окраску, а также бетацианины, придающие клеточному соку вакуолей красную окраску.

В соответствии с общепринятой классификацией, антоцианы входят в один из подклассов флавоноидов (гидроксипроизводных флавона). Все антоцианы - это О-гликозиды. Содержат в качестве агликона антоцианидины. Антоцианидины состоят из двух ароматических бензольных колец, разделенных кислородсодержащим гетероциклом и различаются по положению заместителей. К разнообразию антоцианов приводят структура, количество и положение сопряженных сахаров и ацильных фрагментов в молекуле.

Окраска этих соединений обусловлена кислой средой растительных тканей, в которых антоцианы существуют в форме флавилиевои соли, содержащей хромофор. Хромофором является электрон гетероциклического атома кислорода. На варьирование окраски оказывают влияние гидроксильные группы, несущие свободные электронные пары, обуславливающие батохромный сдвиг. Однако, если в гидроксильных группах атомы водорода замещаются сахарами, а также ацильными и метильными группами, то влияние батохромного сдвига ослабевает. Высокая интенсивность окраски часто связана с образованием AVI -антоциан-вакуолярных включений - аморфных структур, в которых антоцианы образуют ассоциации с белковым матриксом. Было высказано предположение, что образование AVI зависит от степени ароматического ацилирования агликонов и структуры остатков сахаров.

Беталаины структурно и химически не похожи на антоцианы. Предшественником биосинтеза беталаинов служит тирозин, а антоцианов – фенилаланин. В отличие от антоцианов, беталаины содержат азот. Основой химического строения (агликоном) беталаинов является беталаминовая кислота, у которой по альдегидной группе произошло присоединение других веществ путем замещения кислорода на азот. У бетацианинов беталаминовая кислота соединена с гетероциклом её конъюгата – аминокислоты цикло-ДОФА (циклодиоксифенилаланина), с образованием бетанидина. Бензольное кольцо цикло-ДОФА содержит гидроксильные группы, которые подвергаются ацилированию и гликозилированию с образованием бетанидин-О-гликозидов. У бетаксантинов беталаминовая кислота соединена с аминами или аминокислотами через аминогруппу. Они не образуют связей с сахарами и ацильными группами.

Беталаминовая кислота является хромофором. Электроны атома азота способствуют электронному резонансу. Окраска беталаинов зависит от электронной структуры заместителя у атома азота. Гликозилирование и ацилирование также влияют на изменение поглощения в видимой области спектра.

Похожие по окраске в кислых средах беталаины и антоцианы по-разному реагируют на изменение pH. При увеличении pH экстрактов химическое строение антоцианов изменяется, что сопровождается существенным изменением цвета, иногда – необратимого. В то же время, у экстрактов бетацианинов при изменении кислотности среды изменяется лишь интенсивность окраски. Однако стабильность экстрактов при хранении у них ниже, чем у антоцианов.

---

## СКРИНИНГ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ БАЛТИЙСКОГО РЕГИОНА

Сухих С.А., Ларина В.В., Бахтиярова А.Х., Скрышник Л.Н., Попов А.Д., Фролов А.А.\*  
ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград  
\*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, surinac@mail.ru

Вторичные метаболиты экстрактов лекарственных растений часто проявляют антиоксидантные свойства. Окислительные процессы в тканях, наблюдающиеся с возрастом, вызывают накопление неблагоприятных изменений в структуре биополимеров клеток и межклеточного матрикса. В течение последних десятилетий в качестве потенциальных антиоксидантов интенсивно изучаются природные соединения растительного происхождения. В рамках данной работы был проведен скрининг различных экстрактов растений, произрастающих на территории Калининградской области, на предмет их антиоксидантного действия.

В качестве объектов исследования были выбраны такие растения, произрастающие на территории Калининградской области, как вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*), чернобыльник (*Artemisia vulgaris*), омела белая (*Viscum album*), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria L. Maxim.*), репешок аптечный (*Agrimonia eupatoria*), валерьяна лекарственная (*Valeriana officinalis L.*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*), яснотка белая (*Lamium album*), ольха серая (*Alnus incana*), лапчатка серебристая (*Potentilla argentea*), сабельник болотный (*Comarum palustre*). Для каждого растения было получено по три вида экстрактов: метанольный, этиацетатный и водный или водно-этанольный.

Наибольшей способностью поглощать свободные радикалы ABTS (2,2'-азино-бис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновая кислота) обладали метанольные экстракты ольхи и таволги. Кроме того, высокие значения антиоксидантной активности относительно радикалов ABTS показали водный экстракт из шишек ольхи и метанольный экстракт вереска. Также указанные экстракты проявляли значительную способность поглощать радикалы DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) и восстанавливать ионы железа Fe<sup>3+</sup> (FRAP).

Было изучено содержание фенольных компонентов в указанных активных экстрактах. Метанольный и водный экстракты ольхи содержали значительные количества эллаговой кислоты. Кроме того, была идентифицирована галловая кислота. Богат фенольными компонентами оказался метанольный экстракт таволги. В этом образце были обнаружены гиперозид, глюкозиды кверцетина и лютеолина, астрагалин, катехин, хлорогеновая, галловая, эллаговая и кафтаровая кислоты. Метанольный экстракт вереска содержал 3,4-дигидроксибензойную, галловую, феруловую, кофейную и хлорогеновую кислоты, гиперозид, апигенин-7-О-глюкозид, катехин, кверцетин-3-О-глюкозид и астрагалин (кемпферол-3-О-глюкозид).

Таким образом, в результате настоящей работы установлено, что метанольные экстракты ольхи, таволги и вереска, а также водный экстракт ольхи показали высокую антиоксидантную активность по отношению к радикалам ABTS и DPPH и высокую восстанавливающую способность FRAP. Указанные экстракты богаты различными фенольными соединениями. Это обуславливает возможность их применения для получения индивидуальных биологически активных веществ, обладающих антиоксидантным действием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение №21-76-10055).

---

## БИОСИНТЕЗ САЛИДРОЗИДА В РАСТЕНИЯХ *RHODIOLA SEMENOVII* В ДИНАМИКЕ ВЕГЕТАЦИИ *IN SITU* В ПРЕДГОРЬЯХ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ

Терлецкая Н.В., Корбозова Н.К., Гражданников А.Е.\*

РГП Институт генетики и физиологии КН МОН РК, Алматы, Казахстан

\*ФГБУН Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН,  
Новосибирск, teni02@mail.ru

Синтез метаболитов в растении – это чётко работающая система, опосредованная как внешними воздействиями (температура, количества осадков, солнечная инсоляция и другие факторы внешней среды), так и внутренними факторами (этапы онтогенеза растения). И вариации в химии растений в динамике вегетации, возможно, направлены и на развитие, и на обеспечение лучшего выживания растений. Синтез вторичных метаболитов, ценных для фармации, разнится по органам растения в зависимости от стадии онтогенеза, поэтому растительный материал следует собирать в то время, когда содержание биоактивных веществ достигло наивысшего уровня. Понимание донорно-акцепторных взаимоотношений в динамике вегетации будет способствовать выяснению как взаимосвязи между изменениями потребности растущих растений в течение вегетации и распределением энергии между органами, которая включает сложные метаболические и сигнальные сети, так и их рациональному использованию.

Методом жидкостной хроматографии в органах растений *R. semenovii*, отобранных в динамике вегетации в предгорьях Заилийского Алатау, обнаружено наличие ценного лекарственного гликозида – салидрозида (п-гидроксифенилэтил-О-β-D-глюкопиранозида), который может рассматриваться в качестве родового признака видов *Rhodiola* и критерия оценки их лекарственных качеств, и выявлено, что салидрозид в течение вегетации может локализоваться в различных органах растения.

Молекулы салидрозида содержат бензольное кольцо, следовательно, это вещество является продуктом специализированного обмена веществ в растении по шикиматному пути. Относительно низкий уровень ценных вторичных метаболитов, который часто наблюдается у имматурных растений и наглядно выраженный в эксперименте у *R. semenovii*, может свидетельствовать о повышенной на данном этапе потребности в первичных метаболитах и питательных веществах. Количество салидрозида в корне на данном этапе составило 0,065% и в побеге – 0,024%. По данным литературы, высокое содержание фенольных соединений, к которым относится и салидрозид, и наиболее резкие их количественные изменения отмечаются в периоды наибольшей напряженности жизненных функций растений (Koricheva, Barton, 2012; Andysheva, Khramova, 2020). При этом, температура и количество осадков напрямую не влияют на содержание фенольных соединений в растительных тканях, но могут оказывать воздействие на сигнальные вещества, которые регулируют переходы этапов онтогенеза, что в свою очередь вызывает изменение биохимического состава (Слепцов, Журавская, 2016). Нами выявлено наибольшее содержание салидрозида в корне во время цветения (0,217%) и в надземной части – во время созревания семян (0,125%). При этом отмечена положительная динамика накопления салидрозида в побеге в течение вегетации, тогда как в корне – после пикового уровня во время цветения – к концу фазы формирования семян (при усилении их силы поглощения и снижения поступления ассимилятов к корням) наблюдался спад уровня концентрации этого вещества до 0,059%.

Таким образом, выявлена связь накопления салидрозида с ростом и развитием растений *R. semenovii*. Показано наличие сезонных изменений содержания гликозидов, обусловленные значительным уменьшением содержания салидрозида в корне в период репродуктивного развития растений. При этом выявлена динамика повышения содержания салидрозида в течение вегетации в надземных органах с максимумом в период созревания семян, что позволяет проводить сбор лекарственного сырья в этой фазе, не повреждая корневую систему.

## ЗАСОЛЕНИЕ СРЕДЫ ВЛИЯЕТ НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ФЕНИЛПРОПАНОИДНОГО ПУТИ И ЛИГНИФИКАЦИЮ ОСЕВЫХ ОРГАНОВ *ZINNIA ELEGANS*

Тугбаева А.С., Ермошин А.А., Киселева И.С.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,  
anastasia.tugbaeva@urfu.ru

Засоление почв – одна из тревожных тенденций нашего времени. Приспособление растений к этому фактору изучают молекулярно-генетическими, физиолого-биохимическими и другими методами. Одним из механизмов защиты от засоления является усиление лигнификации клеточных стенок. Оно приводит к увеличению селективности транспорта ионов по симпласту, поддерживает восходящий транспорт воды в условиях снижения доли апопластного транспорта (Sanchez-Aguayo и др., 2004). Изменение количества и состава лигнина – результат сложной, скоординированной во времени регуляции работы ферментов фенолпропаноидного пути (ФП) и биосинтеза лигнина. Понимание роли генов в этом процессе является актуальной задачей.

Растения *Zinnia elegans* Jacq. сорта «Красная шапочка» культивировали в торфо-кокосовом субстрате (рН 5.6) с добавлением растворов 25 (вариант 1) и 50 (вариант 2) мМ NaCl или воды (контроль) в вегетационных сосудах объемом 0,2 л при фотопериоде 16/8, и температуре 23°C. Высоту и массу стебля определяли на 21 день. В корнях и стеблях спектрофотометрически определяли содержание продуктов перекисного окисления липидов (Uchiyama и Mihara, 1978), фенольных соединений в реакции с реактивом Фолина-Чокалтеу (Larayetap и др., 2019), лигнина Класона (КЛ) и кислоторастворимого лигнина (КРЛ) – сернокислотным методом (Bajrai 2018). Оптическую плотность образцов измеряли на Tecan Infinite M200 Pro (Tecan Austria GmbH, Австрия). Тотальную РНК выделяли с помощью тризола, синтез первой цепи к-ДНК осуществляли согласно инструкции производителя (HiScriptII 1st standart cDNA synthesis kit, Vasyme, China). Экспрессию оценивали с помощью метода qRT-PCR в амплификаторе qTOWER 2.0 (Analytikjena, Germany) с использованием специфических праймеров и реактивов TransStrat® Tip Green qPCR SuperMix (TransGenBiotech, Beijing, China, Cat#AQ141); нормализовали относительно гена *18S rRNA*.

Добавление 25 мМ NaCl приводило к увеличению высоты растений на 11% и массы стебля на 55% в сравнении с контролем. При 50 мМ NaCl высота стебля и его масса снизились на 12% и 20%. Обе дозы NaCl вызывали стресс, о чем судили по усилению ПОЛ.

Общее содержание фенолов в корне уменьшилось на 13% в сравнении с контролем в варианте 2, а в стебле увеличилось на 87% и 79% в вариантах 1 и 2 в сравнении с контролем. Содержание лигнина при засолении в стебле возрастало за счет увеличения КЛ. В корнях содержание лигнина изменялось мало, но менялась его композиция: увеличивалась доля КРЛ на 21% и 16% при действии стрессора. В корне в варианте 1 более чем в три раза выросло количество транскриптов генов *C4H*, *CAD* и *PRX*, что могло приводить к увеличению содержания лигнина. В стебле рост экспрессии гена *PRX* мог приводить к усилению активности пероксидаз III класса и, следовательно, лигнификации тканей. При добавлении 50 мМ NaCl количество транскриптов генов *PAL*, *C4H*, *CCR*, *CAD*, *PRX* и *LAC* снижалось в корнях растений, что могло обусловить уменьшение содержания фенолов и КЛ в этом варианте опыта; а в стебле увеличение содержания фенолов могло быть вызвано усилением экспрессии генов *CCR*, *CAD* (в 3,7 и 5,9 раза соответственно). Происходил также рост количества транскриптов генов *PRX* и *LAC* (в 2,9 и 2,2 раза).

Таким образом, изменение экспрессии генов синтеза лигнина и ФП пути приводило к усилению лигнификации тканей циннии в условиях засоления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00817,  
<https://rscf.ru/project/22-24-00817/>



---

## LARVICIDAL EFFECT OF BORIC ACID AND USNIC ACID COMBINATION AGAINST HOUSEFLY (*MUSCA DOMESTICA* L.) LARVAE

Murat Turan, Mücahit Seçme\*

Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Erzurum Technical University, Erzurum, Turkey, m.turan@erzurum.edu.tr

\*Department of Medical Biology, Faculty of Medicine, Pamukkale University, Denizli, Turkey

Boric acid is a weak acid of boron. It is one of the essential nutrients for plants. Boric acid, which has antiseptic and antimicrobial properties, is used in many different sectors such as ceramic and detergent production, wood preservation, production of cleaning materials, nuclear energy. Usnic acid, a phenolic compound, is the most studied and commercially produced lichen metabolite. It is also known that usnic acid has an antagonist effect, especially against gram-positive bacteria and some fungi, and has anti-cancer properties. The house fly (*Musca domestica* L.) is a common species all over the world. They are mechanical vectors because they carry viruses and bacteria and cause disease transmission. Deaths occur in our country and the world due to diseases transmitted by vector organisms. To prevent vector-related deaths, it is necessary to fight these creatures and keep their populations under control. However, the unconscious use of insecticides creates resistance to these substances in vector organisms. For this reason, it is necessary to search for alternatives by trying chemical substances other than known substances in the fight against vector living things. In this study, the larvicidal effect of boric acid and usnic acid combination (1:1) (1000 ppm) against housefly larvae was investigated by feeding method. In the negative control, only milk, and in the positive control, a commercial larvicide named Difluban % 48 SC (CAS No: 35367-38-5) with diflubenzuron content was used. In the study, while no death was found in the negative control, the mortality rate in the positive control was  $88.89 \pm 2.78$  (%), and the mortality rate in the combination of boric acid and usnic acid was  $66.67 \pm 14.43$  (%). It was observed that the combination of boric acid and usnic acid had a lethal effect close to the mortality rate of the positive control. The combination of boric acid and usnic acid can be used as an effective insecticide, especially in the fight against house flies, since the formation of resistance will be minimized when necessary precautions are taken.

---

## **СОДЕРЖАНИЕ ОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ В ЛИСТЯХ ЧЕРЕШНИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР В ПРОЦЕССЕ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ОТ ВИРУСОВ ПУТЕМ СУХОВОЗДУШНОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ**

**Упадышев М.Т., Мотылева С.М., Тумаева Т.А., Мертвищева М.Е., Петрова А.Д.,  
Упадышева Г.Ю.**

ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и  
питомниководства, Москва, [virlabor@mail.ru](mailto:virlabor@mail.ru)

Для оздоровления растений от вирусов широко применяется метод суховоздушной термотерапии. Несмотря на постепенное повышение температуры до +38 °С, длительное (на протяжении 2-3 месяцев) высокотемпературное воздействие приводит к развитию стресса у растений. Известно, что растения на действие ряда стрессовых факторов реагируют изменением фенольного метаболизма. Однако результатов исследований по данной проблеме на плодовых культурах к настоящему времени накоплено недостаточно.

Целью исследований является изучение действия высоких температур в процессе оздоровления от вирусов путем суховоздушной термотерапии на содержание оксикоричных кислот в листьях черешни. Содержание хлорогеновой и хинной кислот (мг/мл экстракта) в листьях черешни сортов Ревна, Мулатка (2 клона) и Фатеж, зараженных вирусами PNRSV, PDV и PPV, определяли методом ГХМС на хроматографе JMS-Q1050GC («JEOL Ltd», Япония) при разных температурах: +25, +30, +35 и +38 °С. Рассчитывали процентное содержание каждого из двух соединений, приняв их суммарное содержание за 100 % в анализируемой пробе.

При увеличении температуры с +25 до +30 °С отмечали снижение содержания хлорогеновой кислоты на 27 % и увеличение хинной кислоты на 60 %. Процентное содержание хлорогеновой и хинной кислот при температуре +25 °С составляло 90,5 и 9,5 %, соответственно, тогда как увеличение температуры до +30 °С приводило к значительному изменению данного показателя: 81,5 и 18,5 %. При дальнейшем увеличении температуры до +35 и +38 °С, наоборот, отмечали увеличение содержания хлорогеновой кислоты (до 0,43 мг/мл) и снижение – хинной кислоты (до 0,03 мг/мл). При максимальной температуре содержание хлорогеновой и хинной кислот составило 94,1 и 5,9 %, соответственно.

Установлены различия в метаболизме оксикоричных кислот в зависимости от наличия и концентрации вирусов в листьях черешни. У растения сорта Мулатка, зараженного комплексом вирусов PDV и PPV (индекс зараженности 4,2), отмечали более высокое (в 15 раз) содержание хинной кислоты при температуре +25 °С по сравнению с растением этого же сорта с более низким индексом зараженности. Аналогичные тенденции отмечены и при температурах +35 и +38 °С, при которых содержание хинной кислоты у зараженного вирусами в сильной степени растения достигало 43,2 %.

Известно, что хлорогеновая кислота представляет собой сложный эфир кофейной и хинной кислот. Уменьшение количества хлорогеновой кислоты может происходить в результате её расщепления на составные компоненты, в связи с чем вполне объяснимо и последующее увеличение содержания хинной кислоты. И наоборот, увеличение синтеза хлорогеновой кислоты может быть связано с уменьшением и расходом на эти цели хинной кислоты.

Следовательно, в процессе термотерапии при изменении температурного режима происходят циклические процессы синтеза и расщепления хлорогеновой кислоты. Установлена тенденция увеличения содержания хинной кислоты в листьях растений черешни с более высоким индексом зараженности вирусами.

## ХРОМОНЫ *SAPOSHNIKOVIA DIVARICATA* (TURZH.) SCHISCHKIN

Урбагарова Б.М., Тараскин В.В.

ФГБУН Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ,  
urbagarova.bayarma@mail.ru

*Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischkin – представитель семейства *Ariaceae*, произрастающий на территории Китая, Корейского полуострова, Японии, Монголии и Российской Федерации. Корни *S. divaricata* издавна применяются в азиатских медицинских системах в качестве эффективного противовоспалительного средства для лечения артрита, артралгии, головных болей, при атрофии и вялости мышц, лихорадке, заложенности носа, цереброваскулярных заболеваниях, на начальных стадиях оспы и тревоги у детей [1,2]. Химический состав корней *S. divaricata* представлен хромонами, кумаринами, полиацетиленовыми и азотсодержащими соединениями, фенолкарбоновыми кислотами, полисахаридами, жирными кислотами, стероидами. Согласно Фармакопее Китая, Кореи и Японии действующими веществами этого вида ЛРС считаются два хромона: *перв*-О-глюкозилцимифугин и 4'-О-β-D-глюкозил-5-О-метилвиссаминол, по содержанию которых проводят стандартизацию корней [3-5]. Ареал в России охватывает западную часть Дальнего Востока (Республика Бурятия, Забайкальский, Хабаровский, Приморский края и Амурская область) [1]. В данной работе представлены результаты анализа количественного содержания хромонов в корнях *S. divaricata*, собранных на территории Республики Бурятия, а также результаты определения цитотоксической активности этих веществ.

Объектами исследования явились корни *S. divaricata*, заготовленные с 2016 по 2021 гг. на территории с. Тарбагатай Тарбагатайского района Республики Бурятия РФ. Анализ количественного содержания *перв*-О-глюкозилцимифугина, цимифугина и 4'-О-β-D-глюкозил-5-О-метилвиссаминола осуществляли на ВЭЖХ Agilent 1200 (Agilent Technologies, США) с диодно-матричным детектором: колонка Zorbax Eclipse XDBC18 (4.6\*150мм, 5 мкм), подвижная фаза вода:метанол, скорость потока – 1.0 мл/мин, объем пробы – 5 мкл, температура колонки 30°C, аналитическая длина волны – 300 нм. Цитотоксическую активность определяли спектрофотометрическим измерением токсической дозы хромонов в отношении раковых клеток меланомы (MEL-8), лейкоцитарной моноцитной лимфомы (U-937), простаты (DU-145), рака молочной железы (BT-474, MDA-MB-231).

Количественное содержание *перв*-О-глюкозилцимифугина в корнях *S. divaricata* варьировалось от 2,95 до 4,63 мг/г, цимифугина – от 0,10 до 0,14 мг/г, 4'-О-β-D-глюкозил-5-О-метилвиссаминола – от 1,42 до 1,81 мг/г. При сравнительном анализе с образцом из Китая (аптечное сырье, приобретенное в городе Сининь провинции Цинхай) наблюдалось различие в химическом профиле, так китайский образец отличалось большим содержанием цимифугина и 4'-О-β-D-глюкозил-5-О-метилвиссаминола и меньшим содержанием гликозида цимифугина. В ходе исследования *in vitro* выявлена цитотоксическая активность цимифугина и 4'-О-β-D-глюкозил-5-О-метилвиссаминола в отношении всех изученных раковых клеток, стоит заметить, что цимифугин почти на 90% ингибировал рост опухолевых клеток линии рака груди (BT-474, MDA-MB-231).

### Литература:

1. Растительные ресурсы России. Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т.3. Семейства *Fabaceae**Ariaceae* / Отв. Ред. А.Л. Буданцев. – СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 601 с.
2. Ni, Zh. *Materia Medica Words (Chinese Edition)* / Zh. Ni. – Beijing: Beijing TCM Ancient Books Publishing House, 2005. – 783 p.
3. *The Chinese Pharmacopoeia* / Chinese Pharmacopoeia Commission. 2015.
4. *The Japanese Pharmacopoeia* / The Ministry of Health, Labour and Welfare. 2016.
5. *The Korean Pharmacopoeia* / South Korea's Ministry of Food and Drug Safety. 2018.

## ФЕРУЛОВАЯ КИСЛОТА В СОСТАВЕ СУБЕРИНА КОРЫ БЕРЕЗЫ

Фалёва А.В., Третьяков С.И., Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А.

ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова,  
Архангельск, a.bezumova@narfu.ru

Фенольные компоненты можно выделить из продукта щелочного гидролиза коры – суберина, после удаления экстрактивных веществ (ЭВ). Объект исследования – отходы окорки березовых балансов Архангельского ЦБК. Извлечение ЭВ проведено 86%-м этиловым спиртом. Остаток подвергли водно-щелочному гидролизу 5%-м КОН (гидромодуль 1: 15) с нагревом в ЭМП СВЧ. Суберин осадил путем подкисления фильтрата 1 М HCl до pH 4–6 после удаления остатка (целлолигнина), промыли водой и высушили под вакуумом при комнатной температуре [1]. В составе мономеров суберина присутствуют гидроксикислоты. Феруловая кислота (ФК), относящаяся к гидроксикоричным кислотам, является биодоступной и обладает преимуществом по ряду полезных свойств [2].

Определение содержания ФК в суберине проводили методом ГХ/МС. Навеску пробы растворяли в 1 мл пиридина и центрифугировали. Из фугата отбирали аликвоту 50 мкл, смешивали с 50 мкл силилирующего реагента BSTFA, выдерживали при 70 °С в течение 30 мин. Реакционную смесь охлаждали в течение 30 мин и проводили дальнейший анализ на приборе CG-MS QP-2010 Ultra (Shimadzu, Япония). Условия анализа: колонка капиллярная HP-5ms, диаметр 0.25 мм, длина 30 м, толщина неподвижной фазы 0.25 мкм; ввод пробы с делением потока 1: 10; температура ввода 280 °С; газ-носитель – гелий; управление потоком газа – постоянное давление; поток через колонку 1 мл/мин; начальная температура термостата 50 °С, изотерма 5 мин, подъем температуры со скоростью 10 °С/мин до 320 °С, изотерма 20 мин; температура устройства сопряжения 280 °С; температура ионного источника 230 °С; энергия ионизации 70 эВ; режим работы масс-детектора: SIM (запись выбранных ионов); выбранные ионы, m/z: 338, 323, 308.

Для количественного определения ФК в суберине методом внешнего стандарта (не менее 99%, Aldrich) построена градуировочная зависимость по концентрациям 1, 10 и 100 мкг/мл кислоты. Результаты, представленные в таблице, показывают, что отходы окорки могут служить источником получения ценного биоактивного фенольного вещества.

Таблица. Содержание феруловой кислоты в исследуемых образцах суберина (P=0.95; n=3)

Фракция измельченной коры, мм	№	Содержание феруловой кислоты		
		в экстракте, мкг/мл	в сухом материале, г/кг	
			значения	среднее значение
<1 мм	1	17.1	2.45	2.65±0.52
	2	18.4	2.63	
	3	20.1	2.87	
2–3	1	96.6	10.50	11.27±1.84
	2	110.3	11.98	
	3	104.1	11.31	

### Литература:

1. Безумова А.В., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Извлечение субериновых кислот из бересты при воздействии СВЧ-поля // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 21–28. DOI: 10.14258/jcprm.1304159.
2. Kumar N., Vikas Pruthi V. Potential applications of ferulic acid from natural sources // Biotechnology Reports. 2014. Vol. 4. Pp. 86–93. DOI: 10.1016/j.btre.2014.09.002.

---

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АНТОЦИАНОВ В ПЛОДАХ ТРЁХ ВИДОВ *CAPSICUM* В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ КОРРЕЛИРУЕТ С УРОВНЯМИ ТРАНСКРИПЦИИ СТРУКТУРНЫХ И РЕГУЛЯТОРНЫХ ГЕНОВ ФЛАВОНОИДНОГО ПУТИ БИОСИНТЕЗА

**Филюшин М.А., Щенникова А.В., Кочиева Е.З.**

Институт биоинженерии им. К.Г. Скрябина, ФИЦ Фундаментальные основы биотехнологии РАН, Москва, michel7753@mail.ru

Фиолетовая окраска плодов некоторых видов и сортов перца *Capsicum* (Solanaceae) обусловлена накоплением производных дельфинидина в кожице. При этом в процессе созревания, за исключением некоторых сортов, экзокарп плода меняет окраску с фиолетовой на красную за счет снижения содержания антоцианов и накопления каротиноидов. Нами определена динамика содержания суммы антоцианов в кожице плодов в процессе созревания у образцов трёх видов перца – *C. annuum* (сорт Сиреневый куб), *C. chinense* (сорт Pimenta Da Neyde) и *C. frutescens* (сорт Самоцвет). Исследуемые образцы перца различаются динамикой содержания антоцианов в плодах в процессе созревания. У сорта Сиреневый куб окраска плода по мере созревания изменяется с ярко-фиолетовой (незрелый плод) на красную (зрелый плод). Плоды сорта Pimenta Da Neyde сохраняют фиолетовую окраску на всех стадиях развития, при этом содержание антоцианов по мере созревания увеличивалось, наибольшее содержание выявлено в зрелом плоде. У сорта Самоцвет окраска плода в процессе созревания визуальна изменяется с фиолетовой (незрелый плод) на почти полностью белую (бланжевый плод), а затем на ярко-красную (зрелый плод). При этом интересно отметить, что максимальное содержание антоцианов у этого сорта обнаружено в кожице бланжевого плода, имеющего белую окраску.

В кожице и мякоти плодов анализируемых образцов перца были определены профили экспрессии семи основных структурных генов флавоноидного пути биосинтеза антоцианов (*CHS*, *CHI*, *F3'H*, *F3'5'H*, *DFR*, *ANS*, *UFGT*) и генов двух транскрипционных факторов семейств R2R2-MYB (*anthocyanin2*) и bHLH (*MYC*), вовлеченных в регуляцию их экспрессии. У сорта Сиреневый куб экспрессия анализируемых генов (кроме *F3'H*) была выявлена только в фиолетово окрашенном незрелом плоде. У сорта Самоцвет экспрессия генов флавоноидного пути была выявлена на всех стадиях развития плода, при этом в кожице бланжевого плода (максимальное содержание антоцианов, но белая окраска) уровни транскрипции всех исследуемых генов, за исключением *CHI*, были максимальны. В кожице плодов сорта Pimenta Da Neyde уровни экспрессии всех анализируемых генов возрастали в процессе созревания. В мякоти плодов сортов Самоцвет и Pimenta Da Neyde, имеющей фиолетовые прожилки, также была обнаружена экспрессия всех исследуемых генов. В целом, уровни транскрипции генов флавоноидного пути и факторов транскрипции *anthocyanin2* и *MYC* положительно коррелировали с содержанием антоцианов в кожице плодов образцов перца. Также, выявлена взаимосвязь между уровнями транскрипции *anthocyanin2* и *MYC* и структурными генами биосинтеза антоцианов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-16-00016.*



## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ *DASIPHORA FRUTICOSA*

Храмова Е.П., Андышева Е.В.\*

ФГБУН Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, khramova@ngs.ru

\*ФГБУН Амурский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН, Благовещенск

В естественных условиях обитания растения подвергаются действию различных стрессовых факторов, которые могут воздействовать на них одновременно. Эти факторы, особенно абиотические стрессоры (недостаток питательных веществ, сезонные изменения, засоленность почв, ранения, засуха, свет, УФ-излучение, температура, парниковые газы и изменения климата и др.), вызывают значительные нарушения в хемотипах и уровнях биосинтеза фенольных соединений (ФС) [Mierziak et al., 2013; Yeshe et al., 2022]. В связи с чем, исследование изменений накопления ФС (в сумме, по группам и отдельным компонентам) в зависимости от эколого-ценотических условий обитания растений, выявление факторов, влияющих на их биосинтез, и определение вклада этих факторов в изменение содержания растений представляет интерес.

В качестве объекта исследования выбран курильский чай кустарниковый (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) из 10 местообитаний Дальнего Востока, Южной и Восточной Сибири в диапазоне географических координат 43°13'–62°30' с.ш. В качестве абиотических факторов рассматривались теплообеспеченность, влагообеспеченность, радиационное солнечное излучение. Цель исследования заключалась в изучении влияния абиотических факторов на накопление ФС *D. fruticosa* в связи с условиями их обитания для выявления наиболее значимых факторов.

Исследован состав и содержание ФС в водно-этанольных экстрактах из листьев *D. fruticosa* методом ВЭЖХ. Фенольный комплекс *D. fruticosa* представлен 16-22 компонентами. Установлены семь флавонолгликозидов – гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин, кверцитрин, астрагалин, рутинозид кемпферола, два агликона – кверцетин и кемпферол, а также эллаговая кислота и ее гликозид. Содержание суммарного содержания ФС в листьях растений варьировало от 13,5 до 28,3 мг/г, гликозидов кверцетина – от 4,8 мг/г до 17,3 мг/г, гликозидов кемпферола – от 0,1 до 1,3 мг/г. Суммарное содержание эллаговых соединений в листьях изменялось от 6,9 мг/г до 12,9 мг/г.

Обнаружено, что с продвижением вида с юга на север, усилением инсоляции на фоне низкотемпературного стресса, засухи содержание всех отдельных компонентов возрастало, за исключением авикулярина, содержание которого, напротив, снижалось. Во всех образцах преобладали производные кверцетина, их доля в составе флавонолов составляла от 89 до 98 %. На долю кемпферол-производных приходилось от 2 % в приморских образцах до 11 % в хакасских (Южная Сибирь). Доля рамнетин-производных в листьях шилкинской популяции (Восточная Сибирь, Забайкалье) составила 4 %. В целом доля флавонолов в суммарном содержании ФС в листьях растений изменялась от 37 до 67 %, возрастая по мере продвижения вида на север, максимально накапливаясь в магаданских экземплярах.

Используя коэффициент детерминации ( $R^2$ ) показано, что содержание ФС (в сумме и по группам) на 53-75 % определяется температурой, флавонолов – на 50-91 % влагообеспеченностью и на 50-54 % – солнечной радиацией. Накопление эллаговых соединений в листьях у *D. fruticosa* на 60 % определяется температурой, остальные факторы имеют низкую значимость. Таким образом, в результате выделены факторы, вносящие значимый вклад в накопление ФС *D. fruticosa*. Пониженная температура воздуха, недостаток влаги и солнечное излучение способствовали накоплению ФС в листьях *D. fruticosa*.

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВЫСШИХ ГРИБОВ В БИНАРНЫХ КУЛЬТУРАХ С БАКТЕРИЯМИ, СТИМУЛИРУЮЩИМИ РОСТ РАСТЕНИЙ

Цивилева О.М.<sup>1</sup>, Шатерников А.Н.<sup>1</sup>, Каневский М.В.<sup>2</sup>, Амелин В.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ Саратовский научный центр РАН (ИБФРМ РАН), Саратов, tsivileva@ibppm.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир

Состояние антиоксидантно-прооксидоксидантного баланса – важный биохимический показатель биосистем с участием высших грибов в условиях экзогенного воздействия. Изучение воздействия фитостимулирующих бактерий на характеристики базидиомицетов способствует пониманию механизмов, запускаемых бактериями у высших грибов, актуально для разработки новых биопрепаратов. В данной работе проводили анализ редокс-состояния системы антиоксидантной защиты в бинарных культурах ксилотрофных базидиомицетов *Flammulina velutipes*, *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* с бактериями рода *Azospirillum*.

Определяли активность каталазы и супероксиддисмутазы, уровень пероксидного окисления липидов (ПОЛ) по содержанию ТБК-активных продуктов (ТБК – 2-тиобарбитуровая кислота), суммарное содержание которых выражали в пересчете на малоновый диальдегид (МДА). Полученные данные свидетельствовали в пользу несущественного увеличения степени окислительного стресса при объединении мицелиальных культур и азоспирилл, и в ряде случаев значительного снижения интенсивности ПОЛ мицелия относительно монокультур грибов. Анализировали суммарное содержание фенольных соединений в мицелии и плодовых телах *F. velutipes*, *G. lucidum*, *P. ostreatus*, выращенных при использовании азоспирилл как компонента посевной бинарной культуры. Наблюдали общие для изученных грибов закономерности изменения содержания суммарных фенолов мицелия в зависимости от штамма азоспирилл и стадии морфогенеза базидиомицета. Обнаружено существенное повышение уровня фенольных соединений при выращивании посевного мицелия всех макромицетов в присутствии *A. baldaniorum* Sp245 и в значительно большей степени – в присутствии *A. brasilense* SR80. Грибные монокультуры в сравнении с бактериально-грибными характеризовались в 3,9 - 1,7 раз меньшим уровнем суммарных фенольных соединений, причем и на стадии вегетативного мицелия, и в плодовых телах наиболее высокий прирост величин концентрации фенолов имел место у *F. velutipes*, а наименее выраженный - у *P. ostreatus*. Выявлена продукция фенольных кислот. *Пара*-гидроксифенилуксусная кислота в наибольшей степени, по сравнению с другими изученными индукторами фенольной природы и рядом нефенольных соединений, способствовала накоплению фенольных веществ в мицелии. Биопродукция фенолов в количествах, превышающих использование их грибным организмом на собственные ростовые процессы, по мере развития мицелия достигала максимума, и происходил переход количества в новое качество. Фенольные соединения начинали выполнять функцию торможения, а затем ингибирования роста. В ряде бинарных бактериально-грибных культур обнаружен фенольный спирт тирозол, способный выступать в роли аутоиндуктора анабиоза у пекарских дрожжей. При совместном выращивании *F. velutipes* с *A. brasilense* SR80, а также *G. lucidum* либо *P. ostreatus* с *A. baldaniorum* Sp245, происходило накопление тирозола в среде культивирования с увеличением его уровня на порядок в сравнении с монокультурой гриба. Это согласуется с выявленной нами ранее ауторегуляторной ролью тирозола в отношении базидиомицетов *Lentinula edodes*, *Grifola umbellata*.

*Работа частично поддержана грантом Российского научного фонда (№ 22-24-00415).*

---

## НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ L-ФЕНИЛАЛАНИНАММИАКЛИАЗЫ В ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЯХ КАРТОФЕЛЯ, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕН Δ12-АЦИЛ-ЛИПИДНОЙ ДЕСАТУРАЗЫ

Цыпурская Е.В., Загоскина Н.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, elena-pr22@mail.ru

В настоящее время трансгенные растения широко используются как для фундаментальных исследований, так и для решения прикладных задач, в том числе по созданию устойчивых форм растений. И в этом плане большой интерес вызывает введение в них генов десатураз - ферментов, отвечающих за образование двойных (C=C) связей в цепях жирных кислот. Отметим, что ненасыщенные жирные кислоты являются важными компонентами клеточных мембранных структур и модификация их уровня важна для текучести мембран, что имеет важное значение для функционирования клеток как в нормальных условиях, так и при действии стрессовых факторов. Было показано, что экспрессия гена цианобактериальной Δ12 десатуразы (*desA*) повышала устойчивость *in vitro* растений картофеля сорта Десница к гипотермии и заражению фитофторой.

Одними из уникальных метаболитов высших растений являются фенольные соединения (ФС), которым отводится важная роль в жизнедеятельности растений, а также их устойчивости. Ключевым ферментом в их биосинтезе служит L-фенилаланинаммиакиаза (ФАЛ), повышение активности которой часто сопровождается накоплением этих вторичных метаболитов. Однако эта взаимосвязь прослеживалась не во всех случаях.

Целью работы было исследование накопления ФС и активности ФАЛ в *in vitro* растениях картофеля, экспрессирующих ген *desA* из цианобактерии *Synechocystis* sp.

Объектом исследования были культивируемые в условиях *in vitro* растения картофеля (*Solanum tuberosum* L., раннеспелый сорт Скороплодный), а также полученные из них трансгенные линии, несущие ген *desA* из *Synechocystis* sp. PCC 6803 (трансляционно слит с последовательностью репортерного гена *licVM3*, кодирующего термостабильную лихеназу) под контролем сильного конститутивного промотора 35S CaMV. Их выращивали при 24°C и 16-час. фотопериоде на агаризованной питательной среде Мурасиге-Скуга, содержащей 2% сахарозы. Для исследований использовали листья из средней части растений 45-дневного возраста, в которых определяли суммарное содержание ФС, содержание флавоноидов и активность ФАЛ, ранее описанными методами (Tsyurskaya et al., 2022).

Содержание фенольных соединений, в том числе флавоноидов, в листьях трансгенных растений картофеля было достоверно выше такового контрольного варианта. Противоположная тенденция отмечалась в отношении ФАЛ: у трансгенов ее уровень был ниже. Исходя из этих данных можно заключить, что в *in vitro* выращиваемых растениях картофеля активность ФАЛ не являлась критерием их способности к накоплению ФС. Следовательно, при экспрессии гена *desA* количество фенольных метаболитов в листьях трансформантов картофеля повышалось, но не за счет активации ФАЛ, что требует дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).

---

## РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРЕВЬЕВ КАШТАНА КОНСКОГО *AESCULUS HIPPOCASTANUM* К КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛИ *CAMERARIA OHRIDELLA*

Шелепова О.В., Коновалова Л.Н., Кондратьева В.В., Воронкова Т.В.,  
Олехнович Л.С., Баранова Е.Н.

ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, shov\_gbsad@mail.ru

Каштан конский *Aesculus hippocastanum* L. – один из видов, широко используемых в озеленении городов. Однако он неустойчив к каштановой минирующей моли или орхидскому минеру (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič). При интенсивном повреждении дерева быстро утрачивают декоративность, досрочно сбрасывают листья, снижают прирост и уходят на зимовку в ослабленном состоянии. Высокая вредоносность *C. ohridella* ставят под вопрос целесообразность не только закладки новых, но и существования имеющихся посадок каштана конского в городских зеленых насаждениях. Разработка системы мониторинга распространения орхидного минера и защиты от него посадок каштанов базируется на результатах изучения особенностей развития *C. ohridella* и ответной реакции растения-хозяина, в частности содержание фенолкарбоновых кислот, что и явилось целью наших исследований.

В московском регионе каштановый минер развивается в двух поколениях с максимумами численности в конце июня и во второй половине августа. Результаты исследований степени пораженности листьев каштана конского орхидным минером свидетельствуют, что листья были сильно повреждены минером, очаги поражения были ярко выражены и занимали большую площадь листа – до 70-75% низкой степени освещенности листьев и до 45-50% на листьях при высокой инсоляции. При этом плотность мин на лист также была выше в 1,5 раза на листьях каштана с низкой степенью освещенности.

Одним из механизмов запуска и регуляции адаптационного механизма ответа растений на биотический стресс (поражение листьев орхидным минером) служат фенольные соединения. Суммарное содержание фенольных соединений (ССФ) в листьях с высокой степенью освещенности варьировалось от 100,11 до 118,18 мг ГАЕ / 100 г и в среднем составило 109,16±1,55 мг ГАЕ/100 г. ССФ в листьях с низкой степенью освещенности было в 1,8 раза выше, оно изменялось в пределах от 189,14 до 201,87 мг ГАЕ / 100 г и в среднем составило – 196,41±1,31 мг ГАЕ/100 г.

Следует отметить, что в запуске каскадных реакций, включающих разные пути активации защитных механизмов, участвуют фенолкарбоновые кислоты (ФФК). Одними из триггеров защитного сигнального пути служат феруловая и хлорогеновая кислоты. Избыток хлорогеновой и феруловой кислот может вызвать усиление стрессового воздействия, что мы и наблюдали на листьях при пониженной степени освещенности. Содержание феруловой кислоты в листьях при пониженной степени освещенности было практически в 3,7 раза выше по сравнению с листьями при высокой степени освещенности – 0,22±0,03 и 0,06±0,01 мкг/г, соответственно. А хлорогеновой кислоты в аналогичных условиях было практически в два раза выше - 34,61±1,30 мкг/г и 17,02±0,38 мкг/г в листьях с высокой и низкой инсоляцией, соответственно.

Таким образом, изменение статуса фенолкарбоновых кислот и фенольных соединений в тканях листьев при высокой степени освещенности способствовало включению протекторного каскада реакций, которые в некоторой степени нивелировали негативные последствия заселения листьев орхидным минером, что отразилось на степени пораженности листьев. Изменение соотношения ССФ и ФФК в листьях при низкой степени освещенности не вовлекалось в экспрессию защитных генов, и, следовательно, не дало положительного эффекта и не способствовало переключению метаболических процессов на адаптационный режим.

## УЧАСТИЕ ФЛАВОНОИДОВ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К КРУГЛОСУТОЧНОМУ ОСВЕЩЕНИЮ

Шерудило Е.Г., Шибаета Т.Г., Рубаева А.А.

ФИЦ Карельский научный центр РАН, Институт биологии, Петрозаводск, sherudil@krc.karelia.ru

Флавоноиды – многочисленная и широко распространенная в растительном мире группа фенольных соединений. Благодаря своим выраженным антиоксидантным свойствам, они участвуют в защите растений от окислительного стресса, вызванного неблагоприятными воздействиями окружающей среды. Поглощая ультрафиолетовое излучение (330–350 нм) и часть видимых лучей (520–560 нм), флавоноиды защищают растительные ткани от избыточной радиации. В условиях полярного дня в районах Арктики и Субарктики растения испытывают воздействие круглосуточного освещения. У аборигенных растений севера имеются механизмы, позволяющие им адаптироваться к экстремально длинному фотопериоду. Однако, участие флавоноидов в адаптации и защите растений от избыточного света в условиях круглосуточного освещения в известной нам литературе не обсуждалось. Целью работы было сравнить изменение содержания флавоноидов в ответ на круглосуточное освещение в листьях аборигенных растений севера, адаптированных к условиям полярного дня, и растений того же рода, интродуцированных в условиях Субарктики (ПАБСИ КНЦ РАН, г. Кировск, Мурманская обл.), родиной которых являются регионы, где никогда не бывает периодов круглосуточного освещения.

Объектами исследования служили аборигенные растения - лапчатка *Potentilla erecta*, герань *Geranium sylvaticum*, горец *Persicaria maculose*, гравилат *Geum rivale* и интродуценты - лапчатка *Potentilla purpurea*, герань *Geranium himalayense*, горец *Bistorta major*, гравилат *Geum coccineum*. В июле растения были помещены в камеры искусственного климата с температурой 23°C, освещенностью 300 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) ФАР и фотопериодами 16 и 24 ч. Через две недели определяли содержание флавоноидов и антоцианов в листьях и оценивали степень развития окислительного стресса по накоплению перекиси водорода и малонового диальдегида (МДА), как показателя интенсивности перекисного окисления липидов.

Полученные результаты показали, что в условиях круглосуточного освещения растения испытывали окислительный стресс, о чем свидетельствовало повышение у них по сравнению с 16 ч фотопериодом содержания перекиси водорода и МДА. При этом также существенно возросла концентрация антоцианов и флавоноидов. Практически все аборигенные растения севера, представители природных популяций, в условиях круглосуточного освещения отличались от растений-интродуцентов существенно более высоким уровнем (на 25-90%) флавоноидов, поглощающих в УФ-В области спектра. Однако, по содержанию антоцианов, поглощающих часть видимого света (530 нм), такая закономерность не прослеживалась, и различия определялись скорее видоспецифичностью, нежели принадлежностью к аборигенам или интродуцентам. Наибольшим накоплением антоцианов при 24 ч фотопериоде отличались аборигенные *Geranium sylvaticum* и *Persicaria maculose* и интродуцированные *Potentilla purpurea* и *Geum coccineum*.

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют об участии флавоноидов в адаптации растений к круглосуточному освещению. У аборигенных растений севера, по-видимому, роль флавоноидов в механизме защиты фотосинтетического аппарата от фотоповреждений в условиях круглосуточного освещения больше, чем у интродуцированных растений, что служит в поддержку гипотезы о том, что качественный и количественный состав накапливаемых растениями флавоноидов тесно связан с происхождением и эволюцией того или иного вида.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00033а.



## ВЛИЯНИЕ КРУГЛОСУТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В МИКРОЗЕЛЕНИ

Шибаета Т.Г., Шерудило Е.Г., Рубаева А.А., Титов А.Ф.

ФИЦ Карельский научный центр РАН, Институт биологии, Петрозаводск, shibaeva@krc.karelia.ru

Микрозелень – новый класс функциональных продуктов, то есть продуктов, которые имеют потенциально положительный эффект на здоровье за рамками основного питания. Микрозелень приобретает все большую популярность в качестве нового пищевого ингредиента, который обеспечивает интенсивный вкус, яркие цвета и свежую текстуру при добавлении в различные блюда. Функциональность микрозелени объясняется высоким содержанием витаминов и минералов, а также других биологически активных соединений. К фитохимическим веществам с высоким содержанием в микрозелени относят и флавоноиды (фенольные соединения с антиоксидантной активностью). Благодаря высокой концентрации целого ряда веществ-антиоксидантов микрозелень может оказывать пользу в профилактике и лечении различных заболеваний. В клетках животных и человека флавоноиды не синтезируются, и их поступление зависит от потребления растительной пищи.

Целью работы была проверка гипотезы, что повышения качества продукции микрозелени, а именно увеличения содержания низкомолекулярных антиоксидантов (антоцианов, флавоноидов, каротиноидов, пролина) можно достичь, применяя режим круглосуточного освещения (24 ч фотопериод). Объектами исследования служили четыре вида семейства *Brassicaceae*: брокколи (*Brassica alaracea* var. *italica* Plenck), мизуна (*Brassica rapa* ssp. *nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt, редис (*Raphanus sativus* var. *radicula* Pers.) и рукола (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa* (Mill.) Thell.). Растения выращивали в камерах искусственного климата при температуре 23°C. Освещение обеспечивалось светодиодными (LED) лампами (соотношение красного и синего света 3:1) или флуоресцентными лампами в течение 16 ч или 24 ч фотопериода. В первой серии опытов ФАР составляла 270 мкмоль/(м<sup>2</sup> с), что обеспечивало разный интеграл дневного освещения (ИДО) при 16 ч и 24 ч фотопериодах – соответственно 15,6 моль/(м<sup>2</sup> сут) и 23,3 моль/(м<sup>2</sup> сут). Во второй серии опытов для обеспечения одинакового ИДО (15,6 моль/(м<sup>2</sup> сут)) при 16 ч фотопериоде ФАР составляла 270 мкмоль/(м<sup>2</sup> с), а при 24 ч – 180 мкмоль/(м<sup>2</sup> с).

Исследования показали, что растения всех четырех видов, выращенные в условиях 24 ч фотопериода имели большую биомассу и более высокий индекс робастности (от англ. robust – крепкий). Круглосуточное освещение привело к развитию легкого окислительного стресса у растений, что зафиксировано по более высокому уровню перекисного окисления липидов и содержанию перекиси водорода по сравнению с растениями, выращиваемыми в условиях 16 ч фотопериода. При этом отмечено, что такие растения накапливали больше антоцианов, флавоноидов и пролина. Различия проявлялись сильнее при освещении LED лампами по сравнению с флуоресцентными. Также эффект круглосуточного освещения был более выражен в серии опытов с разным ИДО. Увеличение содержания каротиноидов под влиянием круглосуточного освещения происходило только в том случае, когда 24 ч фотопериод обеспечивал больший ИДО (первая серия опытов).

Таким образом, выращивание растений с применением режима круглосуточного освещения может быть использовано для производства микрозелени брокколи, мизуны, редиса и руколы с повышенной пищевой ценностью, обусловленной более высоким содержанием веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, в частности, антоцианами и флавоноидами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00033а.

---

## РЕГУЛЯЦИЯ СИНТЕЗА ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE L.*)

**Шоева О.Ю.<sup>1</sup>, Тоцкий И.В.<sup>1</sup>, Муханова М.В.<sup>1</sup>, Зедгенизова В.Д.<sup>1</sup>, Глаголева А.Ю.<sup>1</sup>,  
Гордеева Е.И.<sup>1</sup>, Кукоева Т.В.<sup>1</sup>, Юдина Р.С.<sup>1</sup>, Захрабекова Ш.<sup>2</sup>, Стюарт Д.<sup>2</sup>, Ханссон М.<sup>2</sup>,  
Хлесткина Е.К.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ ФИЦ Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, Новосибирск

<sup>2</sup> Лундский университет, Лунд, Швеция

<sup>3</sup> ФИЦ Всероссийский научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений  
им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, olesya\_ter@bionet.nsc.ru

Полифенольные соединения относятся к вторичным метаболитам растений и выполняют важные функции в физиологии растений. У ячменя флавоноиды, принадлежащие к данной группе соединений, синтезируются в оболочках зерна и помимо важной роли в поддержании состояния покоя семян, защите их от неблагоприятных условий окружающей среды, оказывают существенное влияние на качественные характеристики зерна, определяя его целевое использование. Например, проантоцианидины (конденсированные танины) вызывают коллоидное помутнение пива и нежелательны в пивоваренных сортах ячменя. Напротив, антоцианы, которые могут синтезироваться в алейроновом слое и перикарпе зерна, определяя его голубую и фиолетовую окраску, соответственно, характеризуются широкой биологической активностью и востребованы в сортах для функционального питания человека. Управление количественным и качественным составом полифенольных соединений в зерне ячменя является на сегодняшний день актуальным направлением селекции, а гены, контролирующие содержание и состав различных групп полифенольных соединений, рассматриваются в качестве мишеней для метаболической инженерии.

В ходе выполнения работы были идентифицированы гены, контролирующие синтез антоцианов и проантоцианидинов в зерне ячменя, среди которых гены *Ant1*, *Ant2* и *Ant25*, *Ant27*, соответственно, а для гена *Ant13* показано участие в регуляции синтеза обеих групп соединений. Установлено, что гены *Ant1* (картирован на хромосоме 7HS) и *Ant2* (2HL) кодируют факторы транскрипции с регуляторными доменами R2R3-MYB и bHLH, соответственно. Ко-экспрессия этих генов обуславливает повышенную транскрипционную активность структурных генов биосинтеза флавоноидов, кодирующих ферменты биосинтетического пути, и определяет синтез антоцианов в зерне. Впервые с помощью массового сегрегационного анализа было проведено картирование локусов *Ant25* и *Ant27* на хромосомах 6H и 4HL, соответственно. Сравнительный транскрипционный анализ структурных генов биосинтеза флавоноидов показал их пониженную экспрессию в зерне беспроантоцианидиновых мутантов *ant25* и *ant27* по сравнению с их родительскими сортами. На основании этого наблюдения было сделано предположение о том, что гены *Ant25* и *Ant27* выполняют регуляторные функции в синтезе проантоцианидинов в зерне. Показано, что ген *Ant13* кодирует транскрипционный фактор семейства WD40, который активирует экспрессию структурных генов биосинтеза флавоноидов, необходимых как для синтеза антоцианов, так и для синтеза проантоцианидинов. Изучено естественное и индуцированное аллельное разнообразие выделенных генов. Полученные результаты имеют важное фундаментальное значение, а также способствуют решению практических задач, связанных с ускоренным и эффективным получением новых сортов ячменя с заданными профилями полифенольных соединений в зерне.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ №21-76-10024.*

---

## УЧАСТИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В РЕГУЛЯЦИИ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ ПРОЛИН-СИНТАЗЫ И ДЕГИДРИНА В РАСТЕНИЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ БАКТЕРИЯМИ *BACILLUS SUBTILIS* И ИНФИЦИРОВАНИИ *PHYTOPHTHORA INFESTANS* В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ

Яруллина Л.Г.<sup>1,2</sup>, Бурханова Г.Ф.<sup>1</sup>, Цветков В.О.<sup>2</sup>, Черепанова Е.А.<sup>1</sup>, Заикина Е.А.<sup>1</sup>,  
Сорокань А.В.<sup>1</sup>, Калацкая Ж.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение  
Уфимского ФИЦ РАН, Уфа, yarullina@bk.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа

<sup>3</sup>Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск

Основу экологически безопасных препаратов для защиты растений от стрессов биотической и абиотической природы составляют бактерии р. *Bacillus*. Среди абиотических факторов, формирующих продуктивность картофеля, наличие воды является наиболее важным. Известно, что экзогенно применяемая салициловая кислота (СК), кроме повышения устойчивости к биотрофным патогенам, усиливает устойчивость растений к ряду абиотических стрессов. В связи с вышесказанным представляет значительный интерес изучение совместного воздействия СК и бактерий р. *Bacillus* на индукцию защитных белков в растениях картофеля при инфицировании патогенами и засухе.

Растения, выращенные из мини-клубней сорта Ранняя Роза, опрыскивали суспензией *B. subtilis* ( $10^8$  клеток / мл), смесью бактерий с СК ( $10^{-6}$  М), с жасмоновой кислотой (ЖК,  $10^{-7}$  М) и СК + ЖК. Через 3 дня после обработки растения инфицировали возбудителем фитофтороза *P. infestans* ( $10^5$  спор /мл) и культивировали в условиях искусственно создаваемой почвенной засухи путем сокращения полива. При достижении влажности почвы  $40\pm 5\%$  от полной влагоемкости (7 сут после инфицирования) определяли содержание пролина и транскрипционную активность генов пролин-синтазы *P5CS* и дегидрина *STDHN* методом количественной ПЦР в режиме реального времени. Развитие патогена на листьях оценивали через 5 сут после инокуляции по площади инфекционного пятна. Для оценки достоверности различий выборочных средних проводили дисперсионный анализ и последующий многограновый тест Дункана в программе Statistica 13.

Исследования показали, что обработка бактериями в сочетании с СК и ЖК снижает степень пораженности листьев картофеля, как в нормальных условиях увлажнения почвы, так и при засухе. Причем, сочетание бактерий с СК в большей степени снижает степень развития *P. infestans* на листьях при нормальной влажности, а в сочетании с ЖК – при засухе. Выявлен антистрессовый эффект обработки бактериями *B. subtilis* 26Д в условиях недостатка влаги. Так, в растениях, обработанных *B. subtilis*, уровень пролина в листьях картофеля увеличивался в несколько раз. Сочетание бактерий с СК несколько снижало стимулирующее действие *B. subtilis* на уровень пролина в инфицированных растениях, что могло свидетельствовать о снижении стресс-индуцированной нагрузки в этих условиях опыта. Обработка бактериями вызывала 6-кратное увеличение экспрессии гена *P5CS* в инфицированных растениях при нормальных условиях увлажнения. Однако в условиях засухи только сочетание бактерий с сигнальными молекулами, особенно с СК, приводило к 12-кратному усилению транскрипционной активности гена *P5CS* и 4-кратному повышению уровня накопления транскриптов гена дегидрина *STDHN25*, что свидетельствует о вовлечении этих белков в протекторное действие СК на растения картофеля при недостатке влаги.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 20-516-00005, на оборудовании ЦКП «Биомика» (Отделение биохимических исследований и нанобиотехнологии РЦКП «Агидель») и УНУ «КОДИНК».

---

## **РАЗДЕЛ 4**

# **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

---

## MEDICAL AND BIOLOGICAL ASPECTS OF COMMON CHICORY (*CICHORIUM INTYBUS* L.) APPLICATION AS A SOURCE OF PHENOLIC COMPOUNDS

**Babenko A.N., Krepkova L.V., Borovkova M.V.**

FSBSI The All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow,  
alexandra.mogileva@gmail.com

Currently, herbal medicines are widely used in medical practice to treat and prevent diseases of different genesis. Medicinal plants contain a complex set of biologically active substances (BAS), which have various pharmacological properties and have a multifaceted effect on the human body. One of the most valuable groups of BAS of plants as a source for obtaining medicines are phenolic compounds. The natural substances of this group cause anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial, choleric, hepatoprotective, antispasmodic, diuretic and other actions.

A promising source of BAS, including phenolic compounds, is common chicory (*Cichorium intybus* L.), of the *Asteraceae* family. Almost all parts of this plant are used as a source of food, herbal medicines and dietary supplements. In the pharmaceutical and food industries, chicory root is widely used as a source of prebiotics and dietary fibres, containing up to 70% inulin. However, chicory leaves and seeds contain high levels of phenolic compounds and flavonoids and low levels of inulin. The development of new medicines based on the herb *Cichorium intybus* L. is conditioned by the presence of phenolic compounds such as derivatives of kaempferol, quercetin, esculin, esuletin, chlorogenic and caffeic acids. These bioactive substances in chicory herb have immunomodulatory, antimicrobial, antiviral, anti-inflammatory, antioxidant, gastroprotective, hypolipidemic, antitumor activity.

At the Centre of chemistry and pharmaceutical technology of VILAR a dry extract was obtained from the aerial part of this plant. The analysis of phytochemical composition showed that the main components of the extract are phenolcarboxylic acids (chlorogenic, chicory) and their derivatives; flavonoids (isoquercetin, astragalin, rutin, luteolin and kaempferol), and oxycoumarins (esuletin, chicoryin). The dry extract of common chicory herb contains  $9,20 \pm 0,43\%$  phenolic substances in terms of chicory acid.

As a result of pre-clinical studies, it was found that chicory extract has significant hepatoprotective properties, confirmed on the model of acute toxic hepatitis caused by a single subcutaneous injection of mercuric chloride ( $\text{HgCl}_2$ ) to male *Wistar* rats. Treatment of rats with chicory extract in doses of 100 and 500 mg/kg for 3 weeks prevented sharp reduction of their body weight and physical activity, decreased activity of several liver enzymes characterizing its functional state, and promoted fast recovery of experimental animals. Besides, the studied extract possesses the expressed immunomodulatory, anti-inflammatory and antioxidant properties.

Thus, the presence of phenolic compounds in dry extract of common chicory herb determines its pronounced hepatoprotective and immunomodulatory properties, indicates the prospects of development of medicines based on it with the purpose of subsequent registration for clinical trials.



---

## CAFFEIC ACID-DERIVED BIOPOLYETHER POLY[3-(3,4-DIHYDROXYPHENYL)-GLYCERIC ACID], THE PARADIGM OF A MULTIFUNCTIONAL BIOPOLYMER WITH ANTICANCER EFFICACY

**Barbakadze V., Merlani M., Gogilashvili L., Amiranashvili L.**

Tbilisi State Medical University I.Kutateladze Institute of Pharmacochemistry, Tbilisi, Georgia,  
v.barakadze@tsmu.edu

The main chemical constituent of water-soluble high molecular (>1000 kDa) preparations from *Symphytum asperum*, *S. caucasicum*, *S. officinale*, *S. grandiflorum*, *Anchusa italica*, *Cynoglossum officinale*, *Paracynoglossum imeretinum* and *Borago officinalis* (Boraginaceae) was found to be caffeic acid-derived biopolymer poly[oxy-1-carboxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)ethylene] that is poly[3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid] (PDPGA). Structure elucidation of PDPGA was carried out according to data of liquid-state  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  NMR, APT, 1D NOE, 2D  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  HSQC and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectra. The poly-oxyethylene chain is the backbone of this polymer molecule with 3-(3,4-dihydroxyphenyl)glyceric acid residue as the repeating unit. 3,4-Dihydroxyphenyl and carboxyl groups are regular substituents at two carbon atoms in the chain. PDPGA belongs to a new class of natural polyethers. Besides, PDPGA as a 3,4-dihydroxyphenyl derivative of poly(2,3-glyceric acid ether) belongs to a class of carbohydrate-based biopolymers, namely poly(sugar acids) as well. Its basic monomeric moiety glyceric acid is an oxidative form of the aldotriose glyceraldehyde. In this case poly(2,3-glyceric acid ether) chain is the backbone of this polymer and 3,4-dihydroxyphenyl groups are regular substituents at 3C carbon atoms in the chain.

We have no information on the biosynthesis of such a polymer in plants, but, from the chemical viewpoint, the biosynthesis of PDPGA can be conceived as the epoxidation of the double bond in caffeic acid followed by the polymerization of the resulting oxirane. PDPGA as a unique natural polyether contains aliphatic ether groups in its polymer backbone. Naturally occurring ethers include antibiotics, lipids, oxiranes, terpenoids, flavonoids, polyketides, and carbohydrate derivatives or aromatic polymer such as lignin. Lignin contains ether links between two aromatic rings or between an aromatic ring and an aliphatic moiety.

However, reports concerning polymers that contain aliphatic ethers as repeating unit are missed. Every repeating structural unit of PDPGA contains three reactive functional groups, two phenolic hydroxyl groups in ortho-position and one carboxyl group. The presence of PDPGA in different genera of Boraginaceae family would be interesting from the chemotaxonomic point of view. PDPGA could be a chemotaxonomic marker amongst Boraginaceae plants. The monomer of PDPGA was synthesized via Sharpless asymmetric dihydroxylation of trans-caffeic acid derivatives using a potassium osmate catalyst. Methylated derivative of PDPGA was synthesized via ring opening polymerization (ROP) of 2-methoxycarbonyl-3-(3,4-dimethoxyphenyl)oxirane using a cationic initiator  $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ . Oligomers of PDPGA was synthesized by enzymatic “green” chemistry ROP of methyl 3-(3,4-dibenzoyloxyphenyl)glycidate using lipase from *Candida rugosa* and further deprotections. The multifunctionality of PDPGA should be a reason of its wide spectrum of biological activities: immunomodulatory (anticomplementary), antioxidant and wound-healing properties. Hyaluronidase (Hyal-1) degrades high molecular mass hyaluronic acid into smaller fragments which stimulate inflammation. PDPGA possesses the ability to inhibit the enzymatic activity of Hyal-1 completely.

Consequently, PDPGA exhibited antiinflammatory efficacy. PDPGA and its synthetic monomer exerted anticancer activity in vitro and in vivo against androgen-dependent and -independent human prostate cancer (PCA) cells via targeting androgen receptor, cell cycle arrest and apoptosis without any toxicity, together with a strong decrease in prostate specific antigen level in plasma. The anticancer efficacy of PDPGA against human PCA cells is more compared to its synthetic monomer. Methylated PDPGA did not show any activity against PCA. Thus, PDPGA was identified as a potent agent against PCA without any toxicity.

---

## ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЫРЬЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ

Белова И.В.

ФГБУН Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,  
Belova\_Irina80@mail.ru

Перспективные эфиромасличные растения занимают небольшие площади возделывания, но в них содержатся много биологически активных веществ, которые обладают высокой физиологической активностью. Эти растения могут являться источниками для создания лекарственных средств, экстрактов и биологически активных добавок в пищу. Фенольные соединения обладают антиоксидантными свойствами и биологической активностью. В связи с этим целью наших исследований было изучить содержание экстрактивных веществ и фенольных соединений в перспективных эфиромасличных растениях, выращенных в предгорном Крыму. Количество биологически активных веществ в растении зависит от его вида, условий произрастания, времени сбора, способа сушки и т.д. Содержание биологически активных веществ во многих эфиромасличных растениях изучено недостаточно.

Материалом для исследований служили эфиромасличные растения: *Satureja hortensis* L., *Satureja montana* L., *Elsholtzia stauntonii* Benth. Растительный материал выращивали в полевых условиях, в селекционных питомниках опытных участков отдела селекции и семеноводства ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», в предгорной зоне Крыма. Исследования по содержанию БАВ проводили на сырье собранном в фазы отрастания, бутонизации, начало цветения, массовое и конец цветения в 2019-2021 гг. Содержание общих экстрактивных веществ в растениях, определяли по Государственной фармакопее (ГФ XIII), методом однократной экстракции водно-спиртовым раствором (70%). Общее содержание фенольных соединений определяли титриметрическим перманганатным методом в присутствии индигокармина, дубильные вещества дополнительно осаждали с помощью пищевого желатина. Повторность опыта трехкратная.

Установлено, что в растительном высушенном сырье содержание экстрактивных веществ варьировало от 15,48 до 33,88%, в среднем наибольшее их содержание отмечено в фазу отрастания растений и составило 20,46% для *S. hortensis*, 25,66% для *S. montana* и 33,88% для *E. stauntonii*. Было установлено, что общее содержание фенольных соединений варьировало от 5,64 до 7,58% на абсолютно сухую массу. Наибольшее содержание общих фенольных соединений отмечено для *S. hortensis* в фазу массового цветения (5,89%), у *S. montana* и *E. stauntonii* в фазу бутонизации 7,29% и 7,58% на абсолютно сухую массу соответственно. Сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот менялась в диапазоне от 3,83 до 6,75%, наибольшее содержание отмечено для *S. hortensis* в фазу массового цветения (5,89%), у *S. montana* и *E. stauntonii* в фазу бутонизации 6,52% и 6,75% на абсолютно сухую массу соответственно. Содержание дубильных веществ варьировало от 0,10 до 3,17% на абсолютно сухую массу, высокое содержание отмечено для *S. montana* (3,17%) и *E. stauntonii* (2,18%) в фазу отрастания.

В результате исследования изучено содержание экстрактивных и фенольных у трех эфиромасличных культур в разные фазы вегетации и установлено, что в растительном сырье содержание фенольных соединений выше в фазы отрастания и бутонизации, т.е. синтез биологически активных веществ был максимальным в период активного роста растений. Таким образом, заготовку растительного сырья изученных перспективных эфиромасличных культур *Satureja hortensis* L., *Satureja montana* L., *Elsholtzia stauntonii* Benth. с высоким содержанием биологически активных веществ в условиях предгорной зоны Крыма необходимо проводить в фазу отрастания и бутонизации.

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НАСТОЯ МАНЖЕТКИ МЯГКОЙ

Бояршинов В.Д., Зорина Е.В.

ФГБОУ ВО ПГФА Минздрава России, Пермь, [vitaly.boyarschinov@yandex.ru](mailto:vitaly.boyarschinov@yandex.ru)

Согласно литературным данным, полифенолы снижают заболеваемость и замедляют прогрессирование сердечно-сосудистых, нейродегенеративных и раковых заболеваний, в основе данных эффектов лежит их антиоксидантная активность. Растения рода манжетка (*Alchemilla*) содержат различные группы фенольных соединений: фенолкарбоновые кислоты, кумарины, флавоноиды, гидролизуемые и конденсированные танины [1] и перспективны для получения субстанций с антиоксидантным эффектом. Согласно проведенным ранее исследованиям настоек травы манжетки мягкой обладают антирадикальной активностью в опытах *in vitro* [2]. В связи с этим перспективно изучение антиоксидантной активности на моделях *in vivo*.

В качестве объекта исследования использовали настой травы манжетки мягкой (НММ) изготовленный согласно ОФС.1.4.1.0018.15 «Настои и отвары». Сырьем служили образцы травы культивируемого на территории Пермского края микровида манжетка мягкая (*Alchemilla mollis*). Об антиоксидантной активности НММ судили по антирадикальной активности сыворотки крови и концентрации аскорбиновой кислоты в крови животных с аллоксановым диабетом. Антирадикальную активность оценивали в реакции с дифенилпикрилгидразилом (ДФПГ) по модифицированной методике, концентрацию аскорбиновую кислоты в реакции с дихлорфенолиндофенолятом натрия. Аллоксановый диабет моделировали однократным введением панкреотоксического вещества беспородным крысам массой 180-220 в дозе 160 мг/кг. После развития гипергликемии животным натошак перорально вводили НММ в дозе 1,5 мл/кг (стандартизирован по содержанию флавоноидов), интактная и контрольная группы получали эквивалентное количество растворителя.

В результате исследования выявлено, что введение НММ интактным животным не оказывает влияние на антирадикальную активность сыворотки крови, и достоверно повышает концентрацию аскорбиновой кислоты в крови, что стоит учитывать при оценке профиля безопасности. Установлено статистически значимое снижение антирадикальной активности сыворотки крови и концентрации аскорбиновой кислоты в крови животных с аллоксановым диабетом в сравнении с интактной группой. Введение НММ животным с аллоксановым диабетом статистически значимо повышает антирадикальную активность сыворотки крови и концентрацию аскорбиновой кислоты до значений характерных для интактных животных.

Данные полученные в исследовании *in vivo* свидетельствуют об антиоксидантной активности настоя манжетки мягкой, что позволяет рекомендовать данную субстанцию для углубленного изучения с целью использования их в медицине.

### Литература:

1. Лобанова И. Е., Высочина Г. И., Мазуркова Н. А., Кукушкина Т. А., Филиппова Е. И. Виды рода *Alchemilla* L. (*Rosaceae*): химический состав, биологическая активность, использование в медицине (обзор) // Химия растительного сырья. 2019. № 1. с. 5–22. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014032>
2. Лукинова, К. Е. Изучение антирадикальной активности настоев манжетки мягкой и манжетки обыкновенной / К. Е. Лукинова, В. Д. Бояршинов, Е. В. Зорина // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения: Сборник научных трудов Международной научной конференции, Москва, 17–18 декабря 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений", 2020. – С. 416-422. – DOI 10.52101/9785870190921\_2021\_8\_416.

## СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ГОРИССКОМ РЕГИОНЕ АРМЕНИИ

Варданын Л.Р., Айрапетян С.А.

Горисский Государственный Университет, Горис, Армения, luizavardanyan211@gmail.com

Как химический состав, так и количественное содержание различных компонентов растения во многом зависят от условий его произрастания, в том числе, от совокупности климатических, эдафических, орографических факторов. Совокупность абиотических факторов является предпосылкой для структурных и физиолого-биохимических приспособительных реакций растений, выражающихся в том числе в повышенном биосинтезе веществ, участвующих в обеспечении оптимального функционирования защитной системы растения.

Объектами исследования были выбраны растения различных семейств, широко распространенные в Армении. Образцы растений были собраны в Горисском регионе Армении (ГРА), (высота над уровнем моря \_ 1370-1700м н.у.м.). В экстрактивных веществах лекарственных растений особый интерес представляют соединения фенольного происхождения, как активных антиоксидантов. С этой целью в полученных экстрактивных веществах были определены суммарные содержания фенольных соединений с использованием модифицированного метода Фолина–Чокальтеу (на спектрофотометре Agilent 8453).

Таблица. Содержание фенольных соединений в некоторых лекарственных растений ГРА

Название растения	Содержание фенольных соединений в высушенном растительном сырье (вес.%)
Душица обыкновенная / <i>Origanum vulgare</i>	3,60±0,32
Земляника обыкновенная / <i>Fragaria vesca</i> L.	7,81±0,45
Пижма обыкновенная / <i>Tanacetum vulgare</i>	2,68±0,09
Полынь горькая / <i>Artemisia absinthium</i> L.	1,70±0,56
Полынь обыкновенная / <i>Artemisia vulgaris</i>	3,65±0,42
Клевер луговой / <i>Trifolium pratense</i>	2,15±0,44
Одуванчик лекарственный / <i>Taraxacum officinale</i>	3,54±0,76
Хвощ полевой / <i>Equisetum arvense</i>	0,89±0,06
Цикорий обыкновенный / <i>Cichorium intybus</i>	4,45±0,65
Тимьян ползучий / <i>Thymus serpyllum</i>	2,27±0,22

Обнаруженные суммарные содержания фенольных соединений для исследованных экстрактов приведены в таблице. Из таблицы следует, что из исследованных лекарственных растений наибольшее количество фенольных соединений содержится в экстракте из листьев земляники обыкновенной.

Таким образом, экстракты исследованных лекарственных растений содержат достаточное количество фенолов и могут быть использованы как источники антиоксидантов.

## ФЛАВОНОИДНЫЕ ВЕЩЕСТВА ПРОПОЛИСА

Вахонина Е.А.

ФГБУН Федеральный научный центр пчеловодства, Рыбное, landych899@gmail.ru

Прополис – это многокомпонентная система. Представляет естественную совокупность биологически активных соединений растительного и животного (пчелиного) происхождения.

Исследовали прополис, заготовленный в 2011-2019 гг. на пасаках ряда субъектов Российской Федерации и Белоруссии, которые расположены в природных зонах: лесной, степной и широколиственных лесов.

В 2015-2017 гг. исследованы прополис и почки древесных пород. Всего проанализировано 52 образца прополиса из Рязанской, Воронежской, Новгородской, Калужской, Ленинградской, Тульской областей, Краснодарского и Алтайского края, республики Башкирия, Адыгея, Марий Эл, Чувашия, Белоруссия, Казахстан и 20 образцов почек березы, тополя, осины, ольхи, ели, сосны, каштана.

Определение флавоноидных и других фенольных соединений выполняли методом фотометрии по ГОСТ 28886-19 Прополис (1), флавоноидных соединений в пересчете на рутин - по ГОСТ Р 55312-2012 (2), флавоноидных соединений в пересчете на кверцетин (флавана, флаваноны, флавонолы) - по Руководству по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Р 4.1.1672 (3). Суммарное содержание полифенольных соединений - по ГОСТ ГОСТ 28886-19 (1).

Содержание в прополисе общих флавоноидных соединений составило  $M \pm m$   $36,82 \pm 2,75$  % с колебанием от 15,6 до 88,5 %. Содержание флавоноидных соединений в пересчете на рутин составило  $M \pm m$   $2,42 \pm 0,19$  % с колебанием от 0,05 до 4,5 %; в пересчете на кверцетин составило  $M \pm m$   $4,92 \pm 0,57$  %, с колебанием от 0,7 до 14,97 %. Содержание в образцах прополиса флавоноидных соединений в пересчете на нарингенин составило  $M \pm m$   $7,73 \pm 0,28$  %, с колебанием от 4,2 до 12,9 %. Содержание полифенольных соединений составило  $M \pm m$   $12,23 \pm 0,59$  %, с колебанием от 5,9 до 20,9 %.

Содержание в почках древесных растений общих флавоноидных соединений составило  $M \pm m$ : почки березы  $18,35 \pm 5,26$  %, почки тополя  $69,77 \pm 19,53$  %, почки осины  $2,85 \pm 0,07$  %, почки ольхи  $6,69 \pm 0,09$  %, почки каштана  $27,05 \pm 0,06$  %, почки ели  $5,02 \pm 0,31$  % и почки сосны  $7,3 \pm 0,42$  %. Содержание в почках древесных растений флавоноидных соединений в пересчете на рутин составило  $M \pm m$ : почки березы  $5,48 \pm 0,21$  %, почки тополя  $6,12 \pm 5,08$  %, почки осины  $0,69 \pm 0,03$  %, почки ольхи  $8,03 \pm 1,01$  %, почки каштана  $0,17 \pm 2,04$  %, почки ели  $1,89 \pm 0,09$  % и почки сосны  $1,14 \pm 0,16$  %. Содержание в почках древесных растений флавоноидных соединений в пересчете на кверцетин составило  $M \pm m$ : почки березы  $5,23 \pm 0,57$  %, почки тополя  $16,74 \pm 0,05$  %, почки осины  $2,29 \pm 0,7$  %, почки ольхи  $2,76 \pm 0,07$  %, почки каштана  $2,76 \pm 0,07$  %, почки ели  $0,44 \pm 0,71$  % и почки сосны  $0,95 \pm 0,38$  %. Содержание в почках древесных растений суммарного содержания полифенольных соединений составило:  $M \pm m$ : почки березы  $13,16 \pm 0,23$  %, почки тополя  $8,21 \pm 0,11$  %, почки осины  $2,21 \pm 0,17$  %, почки ольхи  $4,86 \pm 0,07$  %, почки каштана  $1,7 \pm 0,23$  %.

Исследования показали, что в почках тополя, березы, каштана и других древесных пород содержатся различные группы флавоноидных соединений: флавонолы, флавоны, флаваны, флавононы, полифенольные соединения, ненасыщенные жирные кислоты и другие биологически активные соединения, которые являются источниками прополиса.

### Литература:

1. ГОСТ 28886-19 Прополис. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019. - 20 с.
2. ГОСТ Р 55312-2012 Прополис. Метод определения флавоноидных соединений. -М.: Стандартиформ, 2014. – 6 с.
3. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Руководство Р 4.1.1672-03 – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. - 178 с.



## ФЛАВОНОИДЫ ПОБЕГОВ БОЯРЫШНИКА МЯГКОВАТОГО

Волкова Н.А., Куркин В.А., Правдивцева О.Е.

ФГБОУВО Самарский государственный медицинский университет  
Министерства здравоохранения РФ, Самара, n.a.volkova@samsmu.ru

Лекарственные препараты на основе цветков и плодов боярышника (*Crataegus sp.*, *Rosaceae*) успешно применяются в качестве кардиотонических средств как в Российской Федерации, так и за рубежом [1, 2]. Зарубежный опыт показывает возможность применения в качестве сырья побегов боярышника, собранных на стадии цветения растения [4]. Одним из перспективных видов боярышника, широко культивируемых на территории нашей страны, является боярышник мягковатый (полумягкий) (*Crataegus submollis* Sarg.). Как показали наши исследования, проведенные ранее, жидкий экстракт побегов боярышника мягковатого обладает антидепрессантным действием [2]. Как известно, для создания эффективных отечественных лекарственных препаратов необходимо получение лекарственного растительного сырья высокого качества.

Целью настоящей работы является изучение вопросов качества побегов боярышника мягковатого.

Для работы нами было использованы молодые (неодревесневшие) побеги боярышника мягковатого, собранные на стадии цветения, в Ботаническом саду Самарского университета в мае 2021 года. Побеги, а также отдельные его части, представляющие собой цветки, стебли и листья, были проанализированы методом дифференциальной спектрофотометрии на содержание суммы флавоноидов в пересчете на гиперозид с использованием методики, разработанной нами ранее. Также нами определен максимум у полученных дифференциальных кривых поглощения. Кроме того, нами был установлен удельный вес каждой части сырья, представляющего собой побеги по массе.

Анализ содержания суммы флавоноидов в сырье боярышника мягковатого в пересчете на гиперозид показал, что в цветках содержится  $1,47 \pm 0,07\%$ , в листьях –  $2,25 \pm 0,11\%$ , в стеблях –  $0,30 \pm 0,02\%$ . Для побегов боярышника мягковатого в целом этот показатель составляет  $2,15 \pm 0,04\%$ . Определено, что все дифференциальные кривые поглощения имеют максимум в УФ-спектре при длине волны  $412 \pm 2$  нм. При этом доля цветков в побегах боярышника мягковатого составляет 31%, доля листьев – 51%, доля стеблей – 14%, а на долю остальных частей побегов приходится лишь 4%. Проведенное исследование показывает, что наиболее высокое содержание флавоноидов приходится на цветки и листья, причем именно у этих частей сырья наиболее высокая по проценту массы доля в сырье. Это согласуется с данными российских ученых, полученными для побегов других видов боярышника [3].

### Литература:

1. Государственная Фармакопея Российской Федерации. - Четырнадцатое издание. – М.: Министерство здравоохранения РФ, 2018. [Электронный ресурс] / URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>
2. Куркин В.А., Правдивцева О.Е., Шайхутдинов И.Х., Куркина А.В., Зайцева Е.Н., Волкова Н.А. Виды рода боярышник (*Crataegus* L.): стандартизация и создание лекарственных препаратов: Монография. - Самара: ООО «Офорт», 2020. – 118 с.
3. Сагарадзе В.А. Фармакогностическое исследование и стандартизация перспективного лекарственного растительного сырья – «Цветки с листьями» видов рода Боярышник (*Crataegus* L.): автореф. дис. ... канд. фармац. наук. Москва, 2019. - 24 с.
4. European Pharmacopoeia. – 8 ed. Strasbourg: Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare of the Council of Europe, 2013.

## АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СВЕКЛЕ И ПРОДУКТАХ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

Гуляева А.Н., Бахарев В.В.

ВО ФГБОУ Самарский государственный технический университет, Самара, nikol163@bk.ru

Антиоксиданты, присутствующие во фруктах и овощах, связаны со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний и различных форм рака. Эти преимущества привели к проведению исследований с целью обнаружения антиоксидантов в растительном материале, используемом в основном в пищевых целях [1].

К соединениям с антиоксидантными свойствами относятся фенольные соединения, которые, как полагают, действуют как антиоксидантные, антиканцерогенные, антимикробные, антиаллергические, антимуtagenные и противовоспалительные, а также снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний. Фенольные соединения встречаются в природе в растениях и присутствуют во фруктах, овощах, листьях, орехах, семенах и цветах; поэтому они присутствуют в рационе человека, но также используются в некоторых лекарственных препаратах [2].

Факторы, которые могут влиять на антиоксидантный потенциал растений, включают генотип, условия окружающей среды и климата, сезон роста, тип почвы, географическое положение, болезни растений, условия хранения и обработки.

Свекла широко культивируется для производства сахара, кормовых растений, натуральных красителей и пищевых продуктов для человека. Было показано, что экстракты, используемые в качестве натуральных красителей для пищевых продуктов, обладают эффективными антиоксидантными свойствами, снижая окисление липидов в вареной свинине [3].

Антиоксидантная способность свеклы была связана с присутствием в ней фенольных соединений, которые обеспечивают нутрицевтический эффект в укреплении здоровья человека и в профилактике заболеваний, в том числе рак [4].

Влияние сушки на общее содержание фенолов и антиоксидантную активность свеклы пока четко не объяснено. Поэтому целью исследования являлось определение содержания фенольных соединений в свекле и продуктах ее переработки. В качестве объектов были выбраны: свекла свежая, высушенная свекла в дегитраторе при 60° и экструдат высушенной свеклы.

В результате исследования было выявлено, что сушка при низкой температуре практически не изменяет антиоксидантную активность, тогда как процесс экструзии повышает ее.

### Литература:

1. Salamatullah, A.M.; Hayat, K.; Alkaltham, M.S.; Ahmed, M.A.; Arzoo, S.; Husain, F.M.; Al-Dossari, A.M.; Shamlan, G.; Al-Harbi, L.N. Bioactive and Antimicrobial Properties of Oven-Dried Beetroot (Pulp and Peel) Using Different Solvents. *Processes* 2021, 9, 588. <https://doi.org/10.3390/pr9040588>
2. Guiné RPF, Gonçalves F, Lerat C, Idrissi TE, Rodrigi E, Correia PMR, Gonçalves JC (2018) Extraction of Phenolic Compounds with Antioxidant Activity from Beetroot (*Beta Vulgaris* L.). *Current Nutrition & Food Science*, 14(4), 350-357.
3. Lembong E, Utama G. L., Saputra R. A. Phytochemical Test, Vitamin C Content and Antioxidant Activities Beet Root (*Beta vulgaris* Linn.) Extracts as Food Coloring Agent from Some Areas in Java Island (2018). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 306 (2019) 012010. doi:10.1088/1755-1315/306/1/012010
4. Mingshun C., Hecheng M., Yi Z., Fuquan C., Shujuan Y. Antioxidant and in vitro anticancer activities of phenolics isolated from sugar beet molasses. *Chen et al. BMC Complementary and Alternative Medicine* (2015) 15:313. DOI 10.1186/s12906-015-0847-5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В МЕЛИССЕ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

Гущина П.И., Кислицына Е.А., Фокина А.И.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, Киров, p.gushchina07@gmail.com

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis*) – удивительное лекарственное растение, обладающее многими целебными свойствами (седативное, противовоспалительное, антиоксидантное, антибактериальное и др.) за счет содержания в нем множества полезных веществ (макро- и микроэлементы, витамины, антиоксиданты и т. д.) [1–2]. Лечебное воздействие мелиссы обусловлены наличием у нее биологически активных веществ, среди которых важное место занимают полифенольные соединения (ПФ). На их количество и качество влияют факторы выращивания растений. Для того чтобы исследовать влияние различных факторов на содержание ПФ в мелиссе, необходима надежная методика их определения. Однако литературные данные о наличии аттестованной методики определения содержания ПФ в мелиссе отсутствуют, поэтому была валидирована методика определения ПФ в прополисе [3].

Целью работы было валидировать методику определения ПФ и применить ее для изучения влияния различных факторов (при выращивании) на содержание ПФ в мелиссе лекарственной сорта «Лимонный аромат».

Валидируемая методика: навеску мелиссы массой 0,09 г (точная навеска) с добавлением 25 мл 70% спирта кипятили на водяной бане в течение двух часов. Далее к экстракту объемом 0,5 мл добавляли 6 мл 20% раствора натрия углекислого и 4 мл реактива Фолина-Чокальтеу, общий объем раствора доводили до 50 мл дистиллированной водой, через два часа измеряли оптическую плотность при  $\lambda = 765$  нм. Валидационными характеристиками были: линейность ( $n=3$ ), повторяемость ( $n=6$ ) и правильность (три уровня концентраций,  $n=3$  методом «введено-найденно»). Результаты валидации: линейность (зависимость оптической плотности от содержания определяемого компонента) –  $R=0,99$ ; повторяемость – относительное СКО при  $P=0,95$  составило 11%; правильность – статистически достоверных различий между введенными и найденными количествами галловой кислоты в спиртовое извлечение не обнаружено.

С помощью валидированной методики определяли содержание ПФ в образцах мелиссы, выращенной в течение двух месяцев в различных условиях: в присутствии в грунте выращивания микробов-патогенов *Fusarium culmorum*, комплексного удобрения («УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ»), различных температурных режимах (20–29 °С), типах грунта (торфогрунт и дерново-подзолистая почва). Установлено, что присутствие патогенных микроорганизмов вызывает окислительный стресс, что, в свою очередь, приводит, к накоплению ПФ (защитная реакция растений при стрессе). Повышение температуры активизирует накопление ПФ. Присутствие удобрения позволяет снизить окислительный стресс, вызванный выращиванием на «бедной» питательными элементами почве, что вызывает снижение стресса и накопление ПФ.

### Литература:

1. Чулкова В.В., Чапалда Т.Л., Пояркова Н.М. Лекарственные растения из Семейства Яснотковых (*Lamiaceae Lindl.*), культивируемые на Среднем Урале // Вестник биотехнологии. 2020. Т. 2. С. 1–7.
2. Гребенникова О.А., Палий А.Е., Логвиненко Л.А. Биологически активные вещества мелиссы лекарственной // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского Серия «Биология, химия». 2013. Т. 26. № 1. С. 43–50.
3. ГОСТ Р 55488-2013 Метод определения полифенолов. Прополис.

## ПРИРОДНЫЕ АЛЬДЕГИДОФЕНОЛЫ В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ФАРМАКОФОРНЫХ БИОМОЛЕКУЛ

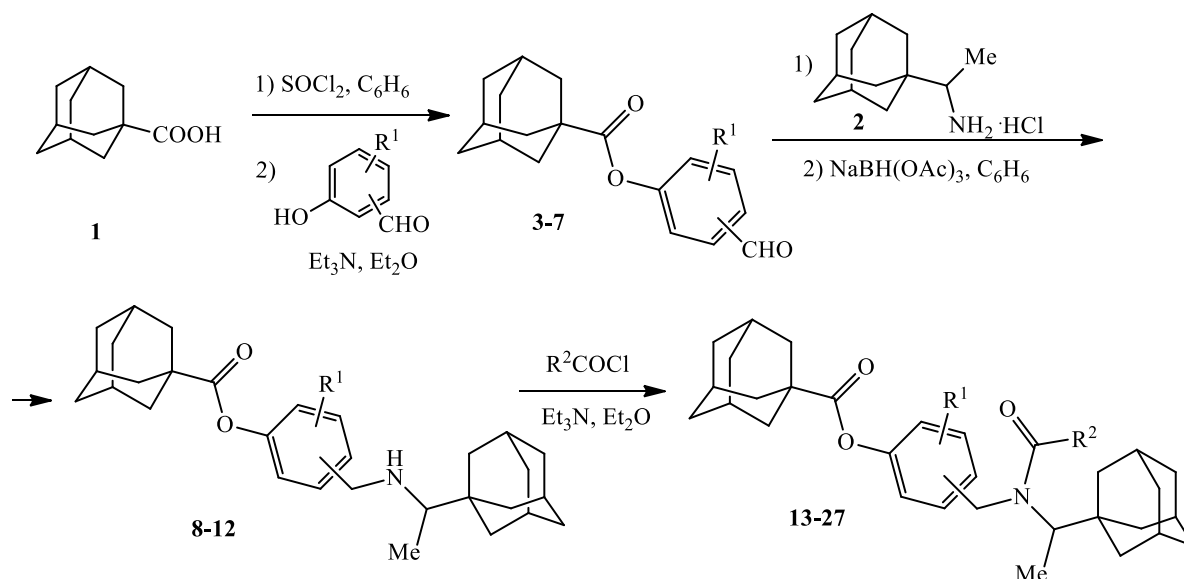
Дикусар Е.А., Акишина Е.А., Поткин В.И.

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, dikusar@ifoch.bas-net.by

Природные альдегидофенолы (ванилин, ванилаль, салициловый альдегид, госсипол и т.д.) и их синтетические аналоги (3-гидроксибензальдегид, 4-гидроксибензальдегид, ортованилин, изованилин и т.д.) могут служить удобными и доступными строительными блоками (линкерами) для формирования фармакофорных биомолекул и биоконъюгатов медицинского, сельскохозяйственного или промышленного назначения [1].

В качестве примеров можно привести использование альдегидофенолов при получении на их основе замещенных бисакридинов (трехкомпонентной каскадной конденсацией 1,3-циклогександионов, 1,5-диаминонафталина и сложных эфиров альдегидофенолов) [2].

Еще одним перспективным направлением применения альдегидофенолов является разработка удобных подходов к синтезу азометинов, аминов и амидов, содержащих фрагменты адамантана, для последующего изучения их биологической активности. Путем конденсации сложных эфиров адамантан-1-карбоновой кислоты с гидроксibenзальдегидами 3-7 и ремантадина 2 (или гидрохлоридом 1-аминоадамантана) в среде абсолютного метанола в присутствии бикарбоната натрия при температуре кипения растворителя, были получены амины 8-12 и амиды 13-27, содержащие в своей структуре потенциальные противовирусные адамантановые фрагменты.



Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант X21M-050.

### Литература:

1. Дикусар Е.А., Козлов Н.Г., Поткин В.И., Ювченко А.П., Тлегенов Р.Т. Замещенные бензальдегиды ванилинового ряда в органическом синтезе: получение, применение, биологическая активность. Минск: Право и экономика, 2011. – 446 с.
2. Дикусар Е.А., Акишина Е.А., Петкевич С.К., Жуковская Н.А., Алексеев Р.С., Бумагин Н.А., Шахаб С.Н., Филиплович Л.Н., Поткин В.И. Синтез производных бисакридина с пиридиновым и 1,2-азольными фрагментами. // ЖОХ. – 2022. – Т. 92, № 1. – С. 56–71.

## THE ANTICANCER ACTIVITY AGAINST HBL-100 CELL LINES AND QUANTITATIVE STRUCTURE-ACTIVITY RELATIONSHIP STUDY ON A WITHANOLIDES DERIVATIVES

Tolibjon Egamberdiyev<sup>1</sup>, Solih Maulyanov<sup>1</sup>, Durbek Usmanov<sup>2</sup>, Rasulev Bakhtiyor<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> National University of Uzbekistan, named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan, tolibjonchemical@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

<sup>3</sup> North Dakota State University, Fargo, ND, USA

Predicting the activities of the chemical compounds by using *in silico* methods has been shown to be a cost- and time-effective way of aiding chemists in synthesizing new biological active compounds. HBL-100 - Cell Line (ID:51117), is a commonly used breast cancer cell line that has been propagated for many years by multiple groups. In this study a quantitative structure-activity relationship (QSAR) model was developed to predict the anticancer activity for a diverse set of organic compounds. A number of models were developed, where a seventeen-variable model showed the best predictive performance with  $r^2 = 0.8159$  and  $q^2_{LOO} = 0.7213$ . The robustness and predictability of the best model was validated using the leave-one-out technique, external set and y-scrambling methods. The predictive ability of the model was confirmed with the external set, showing the  $r^2_{ext} = 0.7584$ . The developed model can be used in the prediction of the anticancer activity of new and untested organic compounds.

**Materials and methods.** The dataset of the compounds for the present research work was collected from several published experimental data [1-2] with anticancer activity (AA). All original activity data has been converted into molar  $1/\log(\text{AA})$  response variables.

**Results and discussion.** The whole set of 32 compounds was divided into the training set consisted of 6 compounds and a test set (predicting set) of 26 compounds. GA-MLRA technique has identified several models. Statistical characteristics with seventeen descriptors variables models are shown in Table 1.

Table 1. Statistical characteristics of the seventeen variable model

Model, no. of descriptors	Training set, $n=26$			Predict set, $n=6$
	$r^2$	s	F	$r^2$
1 (5descr-s)	0.8159	0.2395	17.7223	0.7584

The following equation represent the developed model towards the AA:

$$\text{Log [AA]} = 43.1109 (\pm 23.0027) \text{GNar } 229.3034 (\pm 106.5524)$$

$$\text{X0A } -0.0257 (\pm 0.0114) \text{G(O..Cl)} - 0.0515 (\pm 0.0445)$$

$$\text{RDF120v } -4.8937 (\pm 2.55) \text{R3p (1)}$$

### References:

1. Manuela E. García, Gloria E. Barboza, Juan C. Oberti et al. Antiproliferative activity of withanolide derivatives from *Jaboro sacabrerae* and *Jaboro sareflexa*. Chemotaxonomic considerations. *Phytochemistry* 76 (2012) 150–157
2. Manuela E. Garc, Viviana E. Nicotra, Juan C. Oberti et al. Antiproliferative and quinone reductase-inducing activities of withanolides derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry* 82 (2014) 68-81



---

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Иванова Н.Н., Чирикова Н.К.

ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», Якутск, niklaida@mail.ru

Разработка новых технологий и производство лекарственных средств из отечественного растительного сырья является актуальным направлением фармации. Уникальная флора Якутии и ее большой интродукционный потенциал определяют тенденцию к широкому использованию растительных ресурсов в качестве сырья. В ходе предварительного исследования качественного состава биологически активных соединений в лекарственных растениях Якутии было показано, что они преимущественно накапливают фенольные соединения, причем наиболее богаты фенольными соединениями растения из семейства *Rosaceae* и *Lamiaceae*.

Результаты исследования 29 видов растений из семейства *Rosaceae*, произрастающих в Якутии показали накопление в них основных групп фенольных соединений, характерных для изучаемого семейства (флавоноидов, катехинов, процианидинов, гидролизуемых танинов). Учитывая сведения о биологической активности отдельных соединений, наиболее перспективными для дальнейшего изучения и внедрения в фармацевтическую практику имеют следующие виды: *Comarum palustre*, *Chamaerhodos erecta*, *Fragaria orientalis*, *Geum allepicum*, *Rosa acicularis*, *Rubus matsumuranus*, *Rubus saxatilis*. Были продемонстрированы результаты всестороннего исследования видов *Artemisia* как источников биологически активных фенольных соединений. Двенадцать видов полыни, отобранных для исследования, были охарактеризованы как концентраты флавоноидов и кофеилхинных кислот. Всего 112 фенольных соединений в 12 видах *Artemisia* из различных групп были идентифицированы с помощью метода ВЭЖХ-DAD-ESI-TQ-MS/MS. Кумарины считаются обычной группой соединений для рода *Artemisia*, данные соединения были обнаружены нами в семи изученных видах, включая 7-О-гликозиды умбеллиферона и скополетина.

Накопление данных соединений только в видах с подраздела *Laciniatae* указывает на их значительную хемосинтетическую значимость. Отдельные классы флавоноидов были распределены крайне неравномерно в изученных видах, вышеупомянутые химические особенности накопления отдельных соединений или их групп могут быть использованы как удобный таксономический инструмент для анализа рода *Artemisia* в целом. В результате хроматографического разделения (ВЭЖХ-ДМД-ИЭР/МС, ВЭЖХ-УФ) идентифицированы и выделены в трех видах *Thymus*, *Dracocephalum palmatum*, семи видах *Leonurus*, *Galeopsis bifida*, *Scutellaria scordiifolia*, *Phlomis tuberosa* флавоноидов, простых фенолов, кумаринов и тритерпеновых соединений. Из надземной части *D. palmatum* были выделены два новых гликозида эриодиктиола и лютеолина, идентифицированных с использованием данных УФ-, ЯМР, КД-спектроскопии и пиракантозид-6''-О-малонат, (пиракантозид-4''-О-малонат и лютеолин-7,4'-ди-О-рутинозид, которому дано название дракопальмазид. Из травы *Scutellaria scordiifolia* было идентифицировано 25 соединений различной природы, наличие циннамида установлено впервые для рода *Scutellaria* и семейства *Lamiaceae* в целом.

## ПРЕБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛАВОНОИДОВ *THERMOPSIS ALTERNIFLORA* В ОПЫТАХ *IN VITRO*

Исламова Ж.И., Ботиров Э.Х., Ахмедова Г.Х.\*

Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

\*Республиканский научно-практический медицинский центр эпидемиологии, микробиологии, инфекционных и паразитарных заболеваний, Ташкент, Узбекистан, islamova76@inbox.ru

Известно, что кишечная микробиота играет важную, если не решающую, роль и в метаболизме химических соединений, в том числе полифенолов, наиболее распространенными из которых являются флавоноиды. Кишечная микрофлора деградирует флавонолы до гидроксифенилуксусной кислоты, флавоны и флаваноны — до гидроксифенилпропионовой кислоты, флаванолы — до фенилвалеролактонов и гидроксифенилпропионовой кислоты (пребиотический эффект).

Цель исследования: изучение соединений, выделенных из местного растительного сырья термопсиса очередноцветкового (*Thermopsis alterniflora* Regel et Schmalh) - оробола, формонетина, генистина, лютеолина, хризозериола, относящихся к флавоноидам, на наличие предполагаемой пребиотической активности в опытах *in vitro*.

Материал и методы исследования. В проведенных исследованиях использовали пробиотические препараты и пробиотические культуры: «Бифидумбактерин PL», состоящий из *Bifidobacterium longum* 17x и *Propionibacterium avidum* 1 и «Лактобактерин Ором», состоящий из пяти штаммов микроорганизмов: *Lactobacillus acidophilus* 180, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* 906, *Streptococcus thermophilus* 108, 66–1413 и *Lactococcus lactis subsp. lactis biovar. diacetylactis* 13c65-64, выпускаемые ООО «ОРОМ -БИОПРЕПАРАТ». Наряду с ними использованы отдельные культуры лактобацилл - *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 906, *L. plantarum* 42, *L. casei* 171, *L. rhamnosus* 925. Основой питательной среды для бифидобактерий служила стандартная среда Блаурокка (Hi - Media), для лактобактерий – MRS – бульон (Hi - Media). Исследуемые субстанции вносили в питательную среду в 0,25% концентрации. Культуры выращивали в термостате и - анаэроустате при температуре  $38 \pm 1^{\circ}$  С в течение 48 часов в атмосфере азота. Жизнеспособность тестируемых пробиотических микроорганизмов определяли по количеству живых клеток в 1мл среды выращивания (титр живых клеток). Полученные данные выражали в lg КОЕ/мл. Эксперименты проводили в трехкратной повторности в сравнении с лактулозой - препарат «Дюфалак» (сироп 66.7мг/100мл, АББОТТ BIOLOGICALS, В.В., Нидерланды) на базе ООО «ОРОМ-БИОПРЕПАРАТ» (г.Ташкент). Результаты подвергали статистической обработке с использованием t – критерия Стьюдента.

Результаты. Среди исследованных изофлавонов (оробол, формонетин, генистин) оробол проявил наиболее выраженный пребиотический эффект ( $10,56 \pm 0,34$  для бифидо- и  $11,45 \pm 0,32$  для лактобактерий). Среди флавонов (лютеолин и хризозериол) выделялся лютеолин ( $9,86 \pm 0,28$  для бифидо- и  $10,95 \pm 0,42$  для лактобактерий) , при этом их эффект воздействия на количество изучаемых жизнеспособных пробиотических культур, превосходил контрольные значения ( $8,89 \pm 0,23$  для бифидо- и  $10,33 \pm 0,38$  для лактобактерий) и приближался к значениям, полученным для лактулозы ( $10,68 \pm 0,37$  и  $11,7 \pm 0,48$ , соответственно). Остальные изученные флавоноиды оказали слабо выраженное пребиотическое действие.

Выводы. Таким образом, полученные экспериментальные данные говорят о потенциальной возможности использования флавоноидов из *Thermopsis altherniflora*, оказывающих положительное воздействие на рост и развитие пробиотических штаммов нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, в качестве эффективных пребиотических средств.

---

## МИКРОГРИНЫ ГРЕЧИХИ - УНИКАЛЬНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

**Казанцева В.В.<sup>1</sup>, Гончарук Е.А.<sup>1</sup>, Фесенко А.Н.<sup>2</sup>, Кадырова Ф.З.<sup>3</sup>, Загоскина Н.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, vkazantceva90@gmail.com

<sup>2</sup>ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, Орел, fesenko.a.n@rambler.ru

<sup>3</sup>Институт агробиотехнологий и землепользования Казанского государственного аграрного университета, Казань, fanusa51@rambler.ru

Одним из относительно новых направлений физиологии растений и разработок на ее основе является получение продуктов для функционального питания населения, которые при систематическом употреблении оказывают позитивное регулирующее действие на определенные системы организма и их функциональную активность, улучшая физическое и психическое здоровье человека. К таким продуктам относится микрозелень или микрогрины различных культур, рассматриваемые в качестве сырьевого источника биологически активных веществ (БАВ) и имеющие значительный потенциал для выращивания как в России, так и во всем мире, а также высокий потребительский спрос.

Одним из перспективных источников обеспечения населения БАВ с антиоксидантными свойствами могут быть растения гречихи обыкновенной, которые способны синтезировать их за достаточно короткий срок выращивания. Они богаты витаминами и фенольными соединениями (ФС) - веществами с высокой антиоксидантной активностью, которая сохраняется в организме человека при их поступлении по пищевым цепям. Это имеет важное значение для поддержания его жизнедеятельности и защиты от различных стрессовых воздействий.

В настоящее время природные антиоксиданты растительного происхождения вызывают большой интерес как в фундаментальном, так практическом плане за счет их использования в фармакологических целях. Так, основным компонентом фенольного комплекса гречихи является флавоноид рутин (3-О-рутинозид кверцетина), содержание которого в вегетативной массе достигает 6%. Созданные на его основе препараты проявляют антиоксидантную и капилляроукрепляющую активность. Уникальность ФС заключается и в том, что они синтезируются только в высших растениях, хотя их состав и содержание зависят от многих факторов, включая специфику метаболизма, условия роста, экзогенные воздействия.

Целью исследования было изучение содержания ФС на ранних этапах роста нескольких сортов (сортообразцов) гречихи из различных регионов произрастания.

Проростки гречихи выращивали рулонным способом в течение 14 дней, используя сорта Саулык, Черемшанка, Яшьлек, Дикуль, Дизайн. Семядольные листья отделяли, измельчали и экстрагировали 96%-ным этанолом (45°C, 45 мин). Гомогенат центрифугировали и в надосадочной фракции определяли суммарное содержание ФС.

В большинстве исследованных сортов гречихи содержание ФС составляло 140-170 мг/г сухой массы, что свидетельствует о значительном сходстве интенсивности биосинтеза этих вторичных метаболитов на начальных этапах роста. Исключением был сорт Яшьлек для которого характерен более высокий их уровень, который был на 40% выше, чем у других исследованных культур.

Полученные данные еще раз подчеркивают необходимость оценки видо- и сортоспецифичности накопления ФС у различных культур сельскохозяйственного и пищевого назначения, в том числе гречихи.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 121050500047-5).*

---

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ *PODOPHYLLUM PELTATUM*, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ НА ОПУХОЛЕВЫЕ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА

Китаева М.П.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, kimape@mail.ru

Разработка противоопухолевых лекарственных средств – одна из основных задач современной медицины и фармации. Одним из потенциальных источников биологически активных веществ с противоопухолевой активностью является растение *Podophyllum peltatum* L. и клеточные культуры, полученные из него. Цель работы – изучить цитотоксическую активность и состав фенольных соединений ацетонового экстракта клеточных культур *P. peltatum*. В задачи исследования входило: 1) оценить цитотоксическую активность экстрактов клеточных культур в отношении двух линий опухолевых клеток человека *HeLa* и *K562* (биоколлекция ФГБНУ ВИЛАР, ИБР РАН); 2) исследовать состав фенольных соединений экстрактов клеточных культур. Объектами исследования служили 30-суточные каллусные, 14- и 28-суточные суспензионные клеточные культуры, полученные из плода, почки и корня растения *P. peltatum*. Фенольные соединения извлекали ацетоном 80% [1]. Цитотоксическую активность экстрактов клеточных культур исследовали с помощью резазурин-теста [2]. Для этого опухолевые клетки инкубировали 72 часа при температуре 37°C с экстрактами в следующих разведениях с дистиллированной водой: 1, 1:10, 1:100 и 1:1000. Жизнеспособность клеток оценивалась при сравнении с отрицательным контролем (инкубация клеток с дистиллированной водой вместо экстракта). Исследование состава фенольных соединений экстрактов проводили с использованием ультраэффективной жидкостной хроматографии (УЭЖХ) с диодно-матричным детектором.

Проведенная оценка цитотоксической активности показала, что концентрированные ацетоновые экстракты каллусных культур значительно снижают жизнеспособность клеток *HeLa* на 69-73%, экстракты 14-суточных суспензионных культур – на 44-88%, экстракты 28-суточных суспензионных культур – на 23-50%. Ацетоновые экстракты 14- и 28-суточных суспензионных культур из корня показывают достоверное понижение жизнеспособности клеток *HeLa* при всех разведениях – на 23-59 и 19-50% соответственно. Экстракты из культуральной жидкости не показали значимого понижения жизнеспособности клеток *HeLa*. Достоверного снижения жизнеспособности клеток *K562* при инкубировании с экстрактами клеточных культур обнаружено также не было.

В результате УЭЖХ в экстрактах 28-суточных суспензионных культур из почки и плода идентифицированы производные подофиллотоксина, в экстрактах 14- и 28-суточных суспензионных культур плода – производные кофейной кислоты, в экстрактах каллусных культур из почки и плода, 14-суточной суспензионной культуры из почки – производные эллаговой кислоты, во всех экстрактах - производные флавоноидов и галловой кислоты. Все указанные группы фенольных соединений способны оказывать цитотоксическое действие.

Выраженное (более 25%) понижение жизнеспособности клеток *HeLa* при инкубации с экстрактами клеточных культур подтверждает возможность использования их в качестве сырья с противоопухолевой активностью при раке шейки матки. А данные по составу фенольных соединений объясняют этот противоопухолевый эффект.

### Литература:

1. Engström M. T., Päljjarvi M., Salminen J.-P. Rapid Fingerprint Analysis of Plant Extracts for Ellagitannins, Gallic Acid, and Quinic Acid Derivatives and Quercetin-, Kaempferol- and Myricetin-Based Flavonol Glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS // Journal of agricultural and food chemistry. - 2015. - 63(16). - 4068-4079.
2. Иксанова А.Г., Бондарь О.В., Балакин К.В. Методы исследования цитотоксичности при скрининге лекарственных препаратов. – Казань: Казанский университет, 2016. – 40 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ТРАВЫ МЕЛКОЛЕПЕСТНИКА КАНАДСКОГО *CONISA CANADENSIS (ERIGERON CANADENSIS)*

Копытько Я.Ф.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных  
и ароматических растений, Москва

Мелколепестник канадский - *Erigeron canadensis* L. (*Conyza canadensis* (L.) Cronq). сем. Compositae (Asteraceae), инвазивное сорное растение родом из Северной Америки, завезенное в Европу в XVII веке, в настоящее время распространенное почти повсеместно. Мелколепестник канадский обладает широким спектром фармакологических свойств – противовоспалительным, антиоксидантным, гастрозащитным, антипролиферативным, инсектицидным. В традиционной медицине траву мелколепестника канадского применяют в лечении желудочно-кишечных заболеваний, а также как противовоспалительное, вяжущее, мочегонное, кровоостанавливающее, тонизирующее, диуретическое и глистогонное средство [1]. Выявлено аллелопатическое влияние *Conyza canadensis* на прорастание семян некоторых видов растений [2]. Установлено, что в траве мелколепестника канадского содержатся флавоноиды (кверцетин, лютеолин, байкалеин, апигенин и их гликозиды), производные бензойной кислоты, тритерпеновые соединения, терпеноиды и др. [1, 3].

Целью работы была оценка качественного и количественного состава фенольных веществ в образцах травы мелколепестника канадского, заготовленной в период цветения в 2020 году из биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР, методом ТСХ и спектрофотометрии. В качестве исследуемого раствора служило спиртоводное извлечение. Около 2,5 г (точная навеска) лекарственного растительного сырья (ЛРС), измельченного до размера частиц, проходящих через сито 7 мм, помещали в коническую колбу, прибавляли 50 мл спирта этилового 70% и нагревали с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 1 ч. Затем фильтровали в мерную колбу вместимостью 50 мл, доводили до метки спиртом этиловым 70% до метки и перемешивали.

С помощью ТСХ на пластинках со слоем силикагеля и люминофором (длина волны возбуждения 254 нм) в системе растворителей этилацетат – муравьиная кислота – вода в соотношении 8:1:1 в извлечении из ЛРС обнаружены зоны адсорбции фенольных веществ, в частности рутина, кофейной и хлорогеновой кислот. УФ спектр разведения извлечения в диапазоне длин волн 270-350 нм имеет максимум при длине волны  $328 \pm 1$  нм, максимум или плечо при длине волны около 303 нм, которые совпадают с таковыми на спектре раствора хлорогеновой кислоты, что позволяет судить о значительном содержании фенолкарбоновых кислот, а также использовать УФ-спектр в качестве критерия подлинности ЛРС. Общую оценку содержания суммы фенольных веществ осуществляли методом спектрофотометрии в пересчете на хлорогеновую кислоту в максимуме поглощения при длине волны  $328 \pm 1$  нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Содержание суммы фенольных веществ в пересчете на хлорогеновую кислоту в изученных образцах ЛРС мелколепестника канадского составляет от 2,67 до 3,43%. Полученные данные будут использованы при разработке нормативной документации на ЛРС и лекарственные растительные препараты.

### Литература:

1. Копытько Я. Ф. Химический состав и биологическая активность мелколепестника канадского *Conyza canadensis* (L.) Cronq // Химия растительного сырья, 2016; 4: 5-13.
2. Shaukat, S.S.; Munir, N.; Siddiqui, I.A. Allelopathic Responses of *Conyza canadensis* (L.) Cronquist: A Cosmopolitan Weed. Asian Journal of Plant Sciences, 2003; 2:1034-1039.
3. Shao S., Yang M.M., Bi S.N., Wan Z.Q. Flavonoids of *Erigeron Canadensis* // Zhongguo Zhong Yao Za Zhi, 2012; 37(19): 2902-2905.



## ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЯРУТКИ ПОЛЕВОЙ

Королева Е.Ф., Пупыкина К.А., Фархутдинов Р.Г.

ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России, Уфа,  
pupykinaka@gmail.com

Введение. В настоящее время проводятся разносторонние исследования полезных свойств ярутки полевой (*Thlaspi arvense* L.) семейства капустных (*Brassicaceae*), так как имеются сведения о ее применении в народной медицине в качестве противомикробного, ранозаживляющего, противовоспалительного средства для наружного применения при лечении гнойных ран и язв, а также средства, стимулирующего половую деятельность у мужчин при ослаблении половой функции, а у женщин - для ускорения и активизации менструального цикла [1]. Для применения в официальной медицине необходимо проведение комплексных исследований по изучению химического состава и свойств ярутки полевой для обоснования возможности ее использования в практической медицине.

Целью исследования являлось изучение фенольных соединений травы ярутки полевой из флоры Башкортостана.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали сырье ярутки полевой, собранной в Уфимском районе Республики Башкортостан. Качественный анализ дубильных веществ и флавоноидов проводили с помощью качественных реакций и хроматографического анализа, количественное определение дубильных веществ проводили титриметрически [2], а флавоноидов - с использованием метода спектрофотометрии.

Результаты. В результате качественных реакций на дубильные вещества установлено, что в сырье преобладают вещества конденсированной группы. Методом тонкослойной хроматографии изучен состав флавоноидов ярутки полевой на пластинках «Sorbfil ПТСХ-II-A-УФ». Экспериментальным путем установлено, что наилучшее разделение флавоноидов наблюдается при использовании 70 % спиртового извлечения из травы ярутки, при этом в качестве оптимальной системы растворителей использовали этилацетат - кислоту муравьиную - воду в соотношении 5:1:1, хромогенный реактив - 2% спиртовый раствор алюминия хлорида. При этом в видимом свете на хроматограмме наблюдались пятна коричневого цвета, которые после проявления флюоресцировали в УФ-свете ярко-желтым цветом. В качестве растворов сравнения использовали 0,05% растворы стандартных образцов свидетелей. В результате исследования на хроматограмме обнаружено 5 зон адсорбции, из которых 3 отнесены к флавоноидам ( $R_f=0,74$  – лютеолин-7-глюкозид;  $R_f=0,82$  – кемпферол;  $R_f=0,95$  – кверцетин), 1 зона – хлорогеновая кислота ( $R_f=0,62$ ) и одна зона ( $R_f=0,28$ ) неидентифицированная. Для количественного определения флавоноидов в траве ярутки полевой были подобраны оптимальные условия: экстрагент – спирт этиловый 70%, степень измельченности сырья – 2 мм, соотношение сырья и экстрагента – 1:100, время экстракции – 60 минут, кратность экстракции – однократно, длина волны – 395 нм (таблица 1).

Таблица 1. Результаты определения фенольных соединений в траве ярутки полевой

Исследуемый объект	Дубильные вещества, %	Флавоноиды в пересчете на лютеолин-7-глюкозид, %
Трава ярутки полевой	4,12 ± 0,18	1,14 ± 0,05

Выводы. Таким образом, изучен состав фенольных соединений в траве ярутки полевой и определено их количественное содержание.

### Литература:

- Андряненко А.В. Изучение фармакологической эффективности густых экстрактов ярутки полевой и эспарцета песчаного на модели доброкачественной гиперплазии предстательной железы у крыс // Scientific Journal «ScienceRise» №10/4(15)2015. – С. 46-51.
- Государственная Фармакопея Российской Федерации, XIV издание, Том IV. Лекарственное растительное сырье. М.: «Медицина», 2018. 6074-6083, 6622-6633, 6599-6605 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>.

---

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СУХИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАСТЕНИЙ РОДА *SPIRAEA* L., ОБЛАДАЮЩИХ ПРОТИВОВИРУСНОЙ И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Костикова В.А.

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, serebryakova-va@yandex.ru

Растения рода *Spiraea* L. (спирея) широко представлены на территории Евразии и северной Америки. Они используются в традиционной медицине при лечении различных заболеваний, включая простуду и при снятии таких симптомов как кашель, воспаление и высокая температура (Turner et al., 1980, Растительные ресурсы..., 1987). *S. hypericifolia* L., *S. media* Schmidt и *S. salicifolia* L. являются одними из широко распространённых в природе видов спирей и имеют достаточную сырьевую базу на территории России. Недавние исследования биологической активности сухих экстрактов из надземной части этих видов спирей показало, что *S. media* и *S. hypericifolia* проявляют умеренную противовирусную активность в отношении вирусов гриппа А и В, а экстракты из надземной части *S. salicifolia* и *S. media* перспективны в поиске антиоксидантов (Kostikova et al., 2022). Основными действующими веществами у представителей рода *Spiraea* в первую очередь указываются флавоноиды и фенолкарбоновые кислоты, а также алкалоиды и терпеноиды.

Целью данного исследования является сравнительное изучение состава и содержания фенольных соединений, содержащихся в сухих экстрактах из надземной части 3 видов растений рода *Spiraea*. Материал для исследования собран в природных условиях Азиатской России и при интродукции в Академгородке г. Новосибирска. Фенольные соединения исследовали методами УФ-спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Проанализировано содержание флавоноидов, фенолкарбоновых кислот, катехинов и танинов в экстрактах из растений рода *Spiraea*. Самым высоким содержанием фенолкарбоновых кислот характеризуются сухие экстракты из надземной части *S. hypericifolia* (23,5 %); флавоноидов (15,3%) и катехинов (7,5 %) – *S. media*; танинов – *S. media* (37,4 %) и *S. salicifolia* (33,3 %).

В экстрактах из спирей методом ВЭЖХ обнаружены фенолкарбоновые кислоты (хлорогеновая, *n*-оксибензойная, *n*-кумаровая и кофейная кислоты), флавонолы (гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин, спиреозид, астрагалин, изорамнетин-3-рутинозид, кверцитрин, кверцетин и кемпферол) и флавоон витексин. Преобладающими компонентами являются гиперозид, изокверцитрин, астрагалин. В гидролизатах экстрактов обнаружены три агликона флавонола – кверцетин, кемпферол и изорамнетин.

Выявлена наибольшая положительная взаимосвязь между противовирусной активностью сухих экстрактов и содержанием в них флавоноидов и гликозидов изорамнетина. Наиболее сильная положительная корреляция обнаружена между антиоксидантной активностью сухих экстрактов и содержанием в них катехинов и гликозидов кемпферола.

### Литература:

1. Turner N.J., Bouchard R., Kennedy D.I. Ethnobotany of the Okanagan-Colville Indians of British Columbia and Washington, British Columbia. 1980.
2. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование: Семейства Hydraginaceae–Haloragaceae. Л.: Наука, 1987. С. 95.
3. Kostikova V.A. et al. The antiviral, antiradical, and phytochemical potential of dry extracts from *Spiraea hypericifolia*, *S. media*, and *S. salicifolia* (Rosaceae) // South African Journal of Botany. 2022. 147. P. 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.01.013>

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОДУКТАХ СУХОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНОГО ШРОТА

**Крылова И.В., Доморощенко М.Л., Демьяненко Т.Ф., Шагинова Л.О.**  
ФГБНУ ВНИИ жиров, Санкт-Петербург, irinakrylova1987@gmail.com

Семена подсолнечника содержат до 10 видов фенольных соединений. Это хлорогеновая, кофейная, коричная, кумаровая, феруловая, синаповая кислоты, а также следы ванилиновой и оксибензойной кислот [1]. Хлорогеновая кислота и ее изомеры: кофеил-4-хинная (псевдохлорогеновая), кофеил-5 хинная (неохлорогеновая), 4,5-дикофеилхинная (изохлорогеновая) составляют до 70% фенольных соединений подсолнечника. Содержание хлорогеновой кислоты составляет 0,58-4,5% массы сухого обезжиренного вещества семян в зависимости от сорта и района выращивания подсолнечника [2].

Наличие фенольных соединений ограничивает использование подсолнечного шрота для получения пищевых белковых концентратов и изолятов по традиционным технологиям солевой или щелочной экстракции белковых соединений. При этом они окисляются, вызывая изменение цвета белкового продукта. Кроме того, повышенное содержание фенольных соединений может отрицательно влиять на питательные и функциональные свойства белковых продуктов. Поэтому предпринимается много попыток выделения белка подсолнечника, очищенного от фенольных соединений либо с их пониженной концентрацией [3]. В то же время фенольные соединения могут иметь определенную ценность как биологически активные вещества. Они препятствуют развитию сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, ожирения, обладают антибактериальной и антиоксидантной способностью. Это означает целесообразность параллельного выделения из подсолнечного шрота белка и хлорогеновой кислоты [1, 2], либо получение белковых продуктов с регулируемым содержанием фенольных соединений.

В данной работе исследовали содержание фенольных соединений в продуктах сухого фракционирования подсолнечного шрота. Содержание фенольных соединений определяли модифицированным спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу в пересчете на хлорогеновую кислоту [4]. Было показано, что содержание фенольных веществ увеличивается с повышением содержания сырого протеина во фракции: от 1,33% во фракции с содержанием сырого протеина 26,43% до 2,24% во фракции с содержанием сырого протеина 42,78%. Это может объясняться тем, что фенольные соединения содержатся преимущественно в белковой части семени подсолнечника [3]. Полученные продукты фракционирования подсолнечного шрота с высоким содержанием белка и фенольных соединений могут служить сырьем для получения хлорогеновой кислоты и концентрированного подсолнечного белка, а фракции с пониженной концентрацией фенольных соединений использоваться без дополнительной обработки.

### Литература:

1. Лобанов В. Г., Стрыгина М. В. Фенольный комплекс семян подсолнечника // Известия вузов. Пищевая технология. - 2004. - №1. - с. 41-43.
2. Шаповалова И. Е., Федякина З. П., Демидов И. Н., Матвеева Т. В. Обоснование получения хлорогеновой кислоты из подсолнечного шрота // ВЕЖПТ. 2013. №6 (63). - с. 39-41.
3. Доморощенко М.Л., Демьяненко Т.Ф., Крылова И.В., Камышева И.М. Белковый потенциал семян подсолнечника. Исследования процессов получения пищевых белков из подсолнечного шрота // Вестник ВНИИЖ. - 2020. - №1-2. - с. 24-29.
4. Sastry M.C., Subramanian N. Effect of Heat Processing of Phenolic Constituents and Nutritional Quality of Sunflower Flours // JAOCS. 1985. - Vol. 62. - pp. 1131-1133.

---

## ЭКСТРАКТ ИЗ МОРСКОЙ КРАСНОЙ ВОДОРΟΣЛИ *Ahnfeltia tobuchiensis*, СОДЕРЖАЩИЙ ПОЛИФЕНОЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС, КАК АНТИОКСИДАНТ ПРИ ВЫСОКОЖИРОВОЙ ДИЕТЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Кушнерова Н.Ф.

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, natasha50@mail.ru

Биологически активные вещества, выделенные из водорослей, обладают выраженной фармакологической активностью и низкой токсичностью. Причем многие из них отсутствуют в наземных растениях. Это относится к полифенольным метаболитам, а именно, полимерам флороглюцина – флоротаннинам, как эффективным антиоксидантам. Исследовано влияние водно-спиртового экстракта (70%), выделенного из таллома морской красной водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis* (Kanno et Matsubara) Makienko на показатели антиоксидантной системы и липидного обмена плазмы крови крыс при экспериментальной высокожировой диете (гиперхолестериновый рацион с жировой нагрузкой), при которой формируется оксидативный стресс и активизируется процесс перекисного окисления липидов. В составе экстракта присутствуют общие полифенолы в количестве  $24,6 \pm 2,3$  мг-экв галловой кислоты/100 г сухой водоросли. Антирадикальная активность экстракта к  $ABTS^+$  составляла  $0,13 \pm 0,03$  мкМ тролокса/мг полифенолов, а антирадикальная активность к пероксильным радикалам –  $0,006 \pm 0,01$  мкМ тролокса/мг полифенолов. Данные результаты свидетельствуют о высоком антиоксидантном потенциале экстракта анфельции. Образцы водорослей собирали в осенний период в прибрежных водах б. Алексева, о-в Попова, зал. Петра Великого (Японское море). Водоросли тщательно очищали от эпифитов и частиц песка, промывали сначала морской, затем водопроводной водой, сушили при  $t < 50^{\circ}C$ , после чего измельчали с помощью лабораторной мельницы до размеров частиц 0,5-1 мм и экстрагировали водно-этанольной смесью (70%). Полученный экстракт упаривали в вакууме до сухого остатка и ресуспендировали в воде. Содержание общих полифенолов в экстракте определяли с помощью реактива Фолина-Чокальтеу. Эксперимент проводили на беспородных белых крысах-самцах, содержащихся в стандартных условиях вивария и на стандартном рационе питания. Развитие алиментарной дислипидемии осуществляли кормлением животных высокожировой диетой в течение 30 суток, состоящей из базового стандартного рациона с добавлением 2% холестерина и 20% говяжьего сала от общего состава рациона. Другой группе крыс в высокожировую диету добавляли экстракт анфельции, содержащий 100 мг общих полифенолов/кг массы животного. Контролем служили интактные животные. Влияние высокожировой диеты сопровождалось увеличением массы животных на 27% ( $p < 0,001$ ) и массы печени – на 72% ( $p < 0,001$ ), активацией перекисного окисления липидов, что подтверждает рост значения малонового диальдегида в крови на 44% ( $p < 0,001$ ). Антирадикальная активность в плазме крови снизилась на 16% ( $p < 0,01$ ), активность СОД - в 2 раза, активность глутатионредуктазы - на 14% ( $p < 0,05$ ) и глутатионпероксидазы - на 17% ( $p < 0,01$ ). То есть, происходит формирование оксидативного стресса, при котором также возрастает уровень холестерина, триацилглицеринов, липопротеинов низкой плотности и снижается количество липопротеинов высокой плотности. Введение в высокожировую диету экстракта анфельции сопровождалось выраженной тенденцией к восстановлению исследованных биохимических показателей до контрольных значений. Таким образом, метаболические перестройки под влиянием полифенольных комплексов водорослей в условиях гиперхолестеринового рациона с жировой нагрузкой способствуют восстановлению системы антиоксидантной защиты и липидного обмена, что позволит проводить эффективную профилактику нарушений метаболических реакций при воздействии гиперкалорийного питания. Благодаря способности экзогенных «морских» полифенольных комплексов включаться в метаболизм, можно предполагать их активное влияние на большинство жизненно-важных процессов.

## ПОЛИФЕНОЛЫ РАСТЕНИЙ РОДА АЛОЕ КАК ОДНИ ИЗ ВАЖНЕЙШИХ КОМПОНЕНТОВ «СУККУЛЕНТНОЙ БИМЕДИЦИНЫ»

Лапшин П.В., Загоскина Н.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, p.lapshin@mail.ru

Растения рода Алоэ (*Aloe*) в течение многих лет успешно используются не только народной медициной, но и в фармации и косметологии, что обусловлено накоплением в них различных биологически активных веществ (БАВ). К их числу относятся фенольные соединения (ФС) – широко распространенные в растениях вещества вторичного метаболизма, Полифенолы из алоэ рассматриваются в настоящее время как одни из компонентов «суккулентной биомедицины» (Pattanayak, 2020). Для них характерна иммуностимулирующая, антибактериальная, капилляроукрепляющая, противоопухолевая и противовирусная активности. Значительное число публикаций посвящено изучению накопления ФС в традиционных растениях алоэ – *A. arborescens* и *A. vera*, тогда как о других «альтернативных» видах с высокой способностью в отношении содержания этих метаболитов данных крайне мало. В коллекции ИФР РАН насчитывается более 100 видов растений рода Алоэ. Целью исследования было изучения ряда новых для практического использования их представителей: *A. congolensis*, *A. deltoideodonta*, *A. dorotheae*, *A. immaculata*, *A. isaloensis*, *A. marlothii*, *A. pluridens*, *A. striata* и *A. variegata*, в сравнении с традиционно применяемыми в практике *A. vera* и *A. arborescens*.

Для извлечения ФС использовали молодые и взрослые листья растений. Их высушивали, измельчали и экстрагировали 70%-ным этанолом (45°C, 45 мин.) В надосадочной жидкости определяли содержание различных ФС.

У большинства исследованных видов алоэ суммарное содержание ФС во взрослых листьях было выше по сравнению с молодыми. У *A. marlothii* оно превышало таковое у *A. vera* и *A. arborescens* в 5 раз, а у *A. deltoideodonta* - в 2 раза.

К биогенетическим ранним фенольным метаболитам относятся фенолпропаноиды, основной функцией которых является защитная: от поедания животными, атаки микроорганизмов, действия УФ-лучей. Наибольшее их содержание характерно для *A. marlothii*, которое было в 4 и 2 раза выше, чем у *A. vera* и *A. arborescens*, соответственно.

Содержание флавоноидов – одних из наиболее распространенных ФС зеленых тканей растений, у всех исследованных видов во взрослых листьях примерно 10 раз превышало таковое у молодых. Самое высокое накопление было у *A. marlothii*, *A. congolensis* и *A. deltoideodonta*, примерно вдвое превышающее таковое у *A. vera* и *A. arborescens*.

Флаваны – ФС, обладающие высокой антиоксидантной активностью. Именно они обуславливают ценность медицинских и народных растительных препаратов. Из исследованных видов алоэ резко выделялось *A. congolensis*, у которого их содержание было в 5 раз больше, чем у *A. vera* и *A. arborescens*, тогда как у *A. marlothii* - только в 1,5 раза. Антрахиноны - характерные для рода Алоэ соединения фенольной природы, их наличием определяется биологическая ценность этих растений для практического медицинского использования. В нашем случае у *A. isaloensis* их содержание было 1,5 раза выше, чем *A. vera*.

Главным результатом работы явилось выявление новых объектов рода Алоэ для «суккулентной биомедицины», как источников БАВ фенольной природы по сравнению с классическими и широко используемыми в лечебных целях *A. vera* и *A. arborescens*. Наиболее перспективными для дальнейших исследований были *A. marlothii* и *A. congolensis* высоким содержанием ФС. Они могут легко культивироваться в условиях закрытого грунта и успешно использоваться в качестве продуцентов БАВ, что актуально в рамках направления импортозамещения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121050500047-5).



## ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА – ИСТОЧНИК ФЛАВОНОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Лапынина Е.П.

ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», Рыбное, elena.p56@yandex.ru

Флавоноидные соединения переходят в продукты пчеловодства из смолистых выделений растений, нектара и пыльцы. Однако, если в растениях флавоноиды представлены в виде гликозидов, то в продуктах пчеловодства они присутствуют в свободном состоянии [1]. Наибольшее количество флавоноидов содержится в прополисе, основная часть которого имеет растительное происхождение. По ГОСТ 28886-2019 «Прополис. Технические условия» общее количество флавоноидов и других фенольных соединений в прополисе должно составлять не менее 25 %. Из всех компонентов прополиса более 25 % составляют флавоноиды, которые являются производными флавона и флавана. Содержание полифенолов в прополисе составляет в среднем 7,7 % [2].

Пчелиный воск также содержит в своем составе флавоноиды, которые переходят в него в основном из прополиса, пыльцы и остатков корма. Их содержание в воске 0,3 %, основная часть – это 1,3-диоксифлавона (хризина). Содержание флавоноидов в пыльце и меде зависит от их ботанического происхождения. В меде флавоноиды содержатся в небольшом количестве. Темные меда содержат больше флавоноидных соединений, чем светлые. Наиболее богат флавоноидами каштановый мед, в котором их массовая доля составляет 0,55-0,58 %, наименьшее содержание флавоноидов в липовом меде – 0,16 %.

По ГОСТ 28887-2019 «Пыльца цветочная (обножка). Технические условия» содержание флавоноидов в пыльце не менее 2,5 %. В основном это кверцитин, рутин, катехины и лейкоантоцианы. Содержание флавоноидов в перге, согласно ГОСТ 31776-2012 «Перга. Технические условия», не менее 0,5 %.

В последнее время флавоноиды и фенольные соединения все чаще используют для получения биологически активных препаратов и лекарственных средств. Флавоноиды обладают Р-витаминным действием; оказывают влияние на железы внутренней секреции; стимулируют процессы регенерации ткани, укрепляют сосуды капилляров и проявляют другие биологические свойства. Биофлавоноиды являются сильными антиоксидантами, способными блокировать свободные радикалы в биологических системах, ингибировать перокисление липидов. Кроме антиоксидантного действия флавоноиды оказывают антиканцерогенное, антисклеротическое, противовоспалительное, иммуностимулирующее воздействие на организм человека [10].

Флавоноиды являются эссенциальными веществами для организма человека, и требуют постоянного поступления в организм извне. В этой связи продукты пчеловодства могут служить их дополнительным источником. Являясь биологически активными веществами, обладающими специфическим физиологическим и метаболическим действием, флавоноиды делают продукты пчеловодства природными антиоксидантами, которые могут быть использованы в профилактике различных заболеваний, связанных с избыточным накоплением в организме свободных радикалов.

### Литература:

1. Муравьева Д.А. Фармакогнози. – М.: Медицина, 1981. – 656 с.
2. Вахонина Т.В., Бреева Л.Г., Бодрова Р.Н. и др. Макрочасти прополиса и их антимикробные свойства / Труды НИИ пчеловодства. – Рыбное, 1972. – С. 296-308.
3. Томсон Р.Х., Зейкель М.К., Харборн Д.Б. и др. Биохимия фенольных соединений. – М., 1968. – 451 с.

---

## PHENOLIC COMPOUNDS OF RED LEAVES OF CULTIVATED GRAPES (*VITIS VINIFERA* L.) AND THEIR APPLICATION IN MEDICINE

Lemyaseva S.V., Krepkova L.V., Kuzina O.S.  
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow,  
lemyaseva.svetlana@yandex.ru

In recent years, there has been a growing interest in medicinal plant raw materials as a source of biologically active compounds of drugs, including phenolic compounds. Phenolic compounds are active cellular metabolites, play an essential role in various physiological processes of plants, and are of great practical importance for humans with a wide range of pharmacological effects.

One of the oldest cultivated plants containing phenolic compounds is the cultivated grape (*Vitis vinifera* L.), family Grape (Vitaceae). Biologically active substances that determine the phytochemical composition of this plant exhibit various pharmacological properties, including antioxidant, cardio- and angioprotective. Skin, seeds and red leaves of grapes cultural are used in food and pharmaceutical industry as medicinal plant raw materials for biologically active food supplements and drugs such as Antistax<sup>®</sup> and Venokorset<sup>®</sup>, which are shown for the prevention and symptomatic treatment of chronic venous insufficiency, combined with varicose veins. Grape juice is also included in many dietary supplements.

The possibility of creating medicines based on red grape leaves is associated with the presence of phenolic compounds such as stilbenes (resveratrol, viniferin, astringin, piceid, etc.), flavonoids (quercetin and others), phenolcarboxylic acids, tannins, anthocyanins. Polyphenols contained in the leaves of the plant have antioxidant, antibacterial, antitumor, anti-inflammatory, hypocholesterolemic and antidiabetic activity, as well as hepato-, cardio- and neuroprotective properties.

As part of the requirements of the Federal target program for the development of the pharmaceutical industry of the Russian Federation, aimed at a phased replacement of imported medicines with domestically produced drugs, for several years in the VILAR conducted research work on the creation of domestic medicines based on red grapes cultural leaves, which resulted in obtaining an extract of dry.

Has in its composition of substances of phenolic nature (flavonoids, phenolcarboxylic acids, tannins), resveratrol, aminoacids, macro- and micronutrients, the dominant quantitative content of which are calcium and manganese. The extract under study is standardized by the sum of phenolic compounds in terms of rutin, which content is not less than 6 %.

As a result of preclinical studies it was found that dried extract from leaves of cultivated grapes has venotonic, angioprotective, hypolipidemic and anticoagulant effect.

Experimental work ended with the creation of a drug based on the studied extract, in two dosage forms: capsules 0,180 g for oral administration and cream 3% for external use, recommended in the treatment of chronic venous insufficiency.

---

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПЛОДАХ СЛИВЫ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Маринеску М.Ф.

Институт генетики, физиологии и защиты растений, Кишинев, Молдова, soarele05@mail.ru

В садоводстве республики слива занимает одну из ведущих позиций как среди местных потребителей, так и в экспортной составляющей плодоовощной продукции.

Основным требованием к продукции является способность плодов к длительному хранению (лежкоспособность), которая напрямую связана с особенностями анатомического строения плодов разных сортов и их биохимического состава. Особый интерес к исследованию биохимических процессов, протекающих в плодах сливы, в период длительного хранения объясняется высоким содержанием биологически активных фенольных соединений, главным образом антоцианов, являющихся природными антиоксидантами.

Исследования проводили в плодовом (сливовом) саду Научно-прикладного института садоводства и пищевых технологий Республики Молдова. В качестве объекта исследования были взяты плоды позднеспелых сортов сливы домашней (*Prunus domestica* L.) местной селекции Суперпрезидент и Удлиненная. Плоды хранили в холодильных камерах с РГС в течение 90 дней.

Для экспресс-определения содержания фенолов использовали 5-балльную шкалу оценки интенсивности нитрозореакции.

Цитологические исследования позволили выявить, что одним из основных показателей устойчивости плодов к механическим повреждениям, физическим факторам и патогенам является строение комплекса защитных покровных структур плода (эпикуткулярный воск, кутикула, эпидермис и гиподерма), а также наличие высокого содержания фенольных соединений и флавоноидов, характеризующих высокую устойчивость плодов сливы к грибным заболеваниям и определяющих полезные свойства плодов сливы. Оптимальное сочетание данных параметров определяет пригодность сорта к длительному хранению.

Изучаемые сорта имеют темно-синюю окраску, что указывает на высокое содержание антоцианов в кожице плодов (проантоцианидины: Суперпрезидент  $701,1 \pm 33,2$  мкг/г; Удлиненная  $632,18 \pm 70,8$  мкг/г). Богата биологически активными фенольными соединениями и мякоть сливы (флавонолы: Суперпрезидент  $522,88 \pm 27,6$  мкг/г; Удлиненная  $618,12 \pm 31,8$  мкг/г).

При закладке на хранение содержание фенолов, локализованных в пластидах, каналах эндоплазматического ретикулума, и, главным образом, в вакуолях клеток, высокое и оценивается у сорта Суперпрезидент в гиподерме в 5 баллов и 4,5 балла в подзоне округлых и удлиненно-цилиндрических клеток (окраска от ржаво-коричневой до ржаво-зеленой). Тогда как у сорта сливы Удлиненная содержание фенолов оценивается 4,5-4 баллами. В процессе хранения (90 дней) количество фенольных веществ постепенно снижается за счет метаболизма мономерных и полимерных форм. Низкая температура хранения ( $+2^{\circ}\text{C}$ ) препятствует быстрой биодegradации антоцианов. К концу периода хранения основным местом локализации фенольных включений является вакуолярный аппарат.

Благодаря антиоксидантному действию фенольные соединения стабилизируют мембраны клеток и клеточных органелл, а также различные структуры ядра, осуществляя комплексный цитозащитный эффект.

*Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.18 «Целенаправленное формирование иммунной системы и качества плодов поздних сортов сливы, предназначенных для длительного хранения», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.*

---

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СПИРТНЫХ НАПИТКАХ

Матросова Н.В., Абрамова И.М., Романова А.Г., Павленко С.В., Крыщенко Ф.И.  
ВНИИПБТ – филиал ФГБУН ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва,  
tehnokontrol@mail.ru

Фенольные соединения являются одной из основных групп нелетучих примесей в спиртных напитках из выдержанных зерновых дистиллятов. Эти вещества формируются при контакте дистиллятов с древесиной дуба. Данные соединения оказывают значительное влияние на вкус и аромат спиртных напитков, а также могут служить маркерами, позволяющими выявить фальсифицированную продукцию [1]. Также фенольные соединения являются биологически активными, поэтому способны уменьшить риск развития некоторых хронических заболеваний [2].

Объектами настоящего исследования были зерновые выдержанные дистилляты, ликероводочные изделия и спиртные напитки на их основе. Содержание различных фенольных соединений определялось методом ВЭЖХ на колонке SUPELCOSIL LC-18 (25 см × 4,6 мм, 5 мкм) с использованием жидкостного хроматографа Shimadzu LC-20 (Япония), оснащенного двухволновым спектрофотометрическим детектором SPD-20A и программным обеспечением обработки хроматографических данных LC Solution. Выбор методики обуславливался низкой летучестью фенольных соединений.

Основными фенольными соединениями, присутствующими в напитках на основе выдержанных зерновых дистиллятов, являются галловая, эллаговая, ванилиновая, сиреневая кислоты, ванилин, сиреневый, кониферилловый и синаповый альдегиды.

В настойке полусладкой «Напиток Вильям Лоусон Ванила Спайсд на основе виски» и спиртном зерновом дистиллированном напитке купажированном «Вильям Лоусон со вкусом Чили» отмечается повышенное содержание ванилина, что может быть объяснено технологией производства, включающей его добавление на этапе купажирования. А повышенное содержание галловой кислоты в образце настойки горькой «АКДОВ» является следствием того, что при её изготовлении применялись материалы, полученные на основе чая (концентрация галловой кислоты в черном чае составляет порядка 175 мг/дм<sup>3</sup>), [2] например, спиртованный настой чая черного.

### Литература:

1. М. Э. Медриш, И. М. Абрамова, В. А. Поляков, В. Б. Савельева, Н. В. Приемухова, Изучение нелетучих примесей в выдержанных зерновых дистиллятах и спиртных напитках на их основе, *Пиво и напитки*, 2018, № 3, 52-55
2. A. Crozier, I. B. Jaganath, M. N. Clifford, Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health, *Nat. Prod. Rep.*, 2009, 26, 1001–1043

## ДИНАМИКА МАССОВОЙ ДОЛИ ФЛАВОНОИДНЫХ И ДРУГИХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОМПОЗИЦИЯХ ТРУТНЕВОГО РАСПЛОДА С ЭКСТРАКТОМ ПРОПОЛИСА

Митрофанов Д.В., Будникова Н.В.

ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», Рыбное, dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Трутневый расплод является совокупностью развивающихся мужских особей пчелиной семьи. Он набирает популярность в качестве биологически активной добавки к пище и продукта функционального питания. Трутневый расплод богат протеинами, липидами, жирорастворимыми витаминами.

Прополис, или пчелиный клей, пчёлы собирают со смолистых почек растений. Прополис богат флавоноидными и другими фенольными соединениями, по ГОСТ 28886 их должно быть не менее 25 %, но они могут достигать более 70 % от его массы.

Материалом для исследований служил трутнёвый расплод адсорбированный с лактозно-глюкозным адсорбентом 96:4 и с добавлением 1, 2 и 3 % экстракта прополиса (ЭП).

Массовая доля флавоноидных соединений имеет наименьшее значение в продукте без добавления экстракта прополиса, а при добавлении его значительно возрастает тем больше, чем больше содержание ЭП. Во всех образцах массовая доля флавоноидных соединений в процессе хранения уменьшается, но чем больше в образце ЭП, тем меньше снижение показателя (рис. 1). Таким образом, целесообразно включать в адсорбированные продукты на основе трутневого расплода 2-3 % экстракта прополиса.

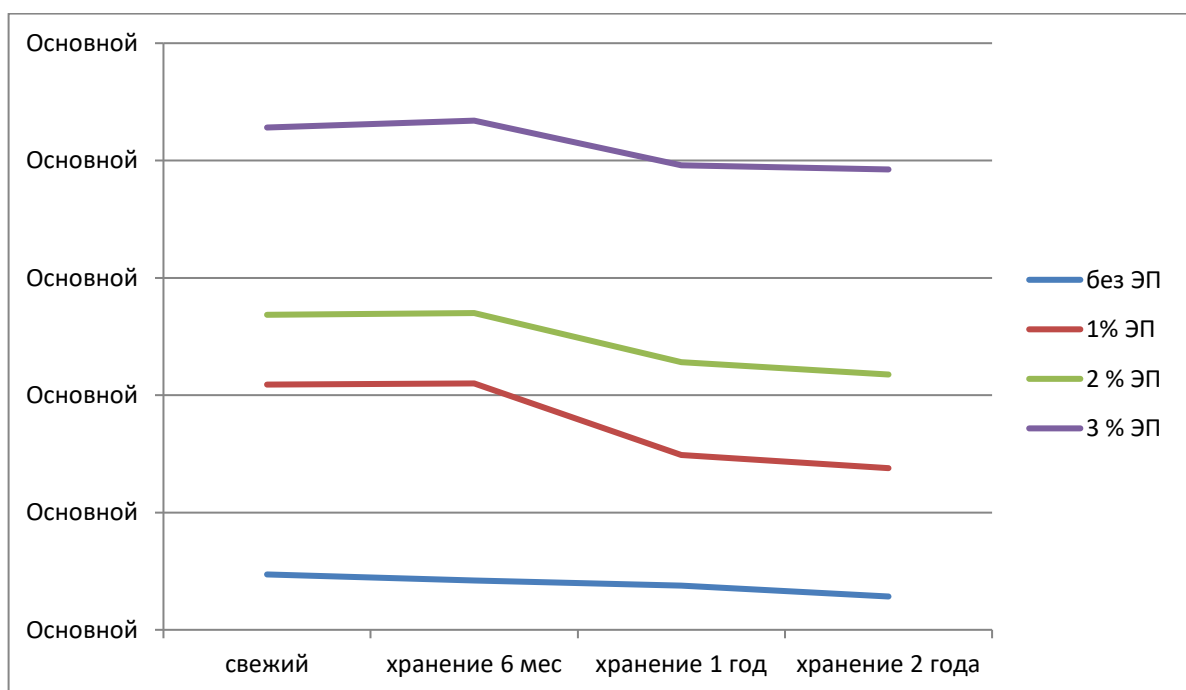


Рисунок 1. Массовая доля флавоноидных и других фенольных соединений в композиции на основе трутневого расплода и ЭП.



---

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСТРАКТА ИЗ ПЛОДОВ РЯБИНЫ, СОДЕРЖАЩЕГО ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, В ПРОФИЛАКТИКЕ СТРЕССОВЫХ НАРУШЕНИЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА

Момот Т.В.

ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, momot.tv@dvfu.ru

В настоящее время изучена и доказана роль стресса как этиопатогенетического фактора ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, атеросклероза и др., которые существенно сокращают продолжительность жизни. В связи с этим необходимо проведение специальных профилактических и коррекционных мер с целью укрепления здоровья, что обеспечит повышение биологического и профессионального долголетия. В наших предыдущих исследованиях из отходов после отделения сока калины, осей соцветий винограда и лимонника был выделен суммарный полифенольный комплекс и было доказано, что он, в условиях экспериментального стресс-воздействия, обладает мембрано-, гепатопротекторным и антирадикальным действием. В нашей стране рынок отечественных стресс-протекторов на основе природных соединений очень ограничен, что требует поиска других видов растительного сырья. Целью работы явилось изучение влияния экстракта из отжима плодов рябины (*Sorbus amurensis* Koechne) при экспериментальном стресс-воздействии.

Исследовано влияние водно-спиртового экстракта (40%), полученного методом реперколяции из отжима плодов рябины, на показатели липидного обмена печени крыс. В состав экстракта входили катехины, кверцетин, флавонолы, лигнин, органические кислоты, каротиноиды и ряд других органических соединений. В качестве препарата сравнения использовался полифенольный комплекс из аптечного экстракта элеутерококка. Эксперимент проводился на белых крысах-самцах линии Вистар с массой тела 180-200 г., содержащихся в стандартных условиях вивария и на стандартном рационе питания. Стресс вызывали путем вертикальной фиксации животных за дорзальную шейную складку на 24 часа. Экстракты вводили животным внутрижелудочно через зонд в дозе 0,4 мл/100 г массы 2 раза в сутки (до вертикальной фиксации и через 4 часа после). Водные растворы сухого остатка экстракта отжима плодов рябины и экстракта элеутерококка (предварительно освобожденный от спирта аптечный экстракт путем упаривания в вакууме) вводили в количестве 100 мг общих полифенолов/кг массы тела. Животные были разделены на 4 группы по 10 крыс в каждой: 1-контрольная (интактные животные), 2 - стресс, 3 - стресс+экстракт рябины, 4 – стресс+экстракт элеутерококка. В печени крыс при стрессе наблюдалось достоверное увеличение концентрации свободных жирных кислот (СЖК), что может быть связано с активацией процессов липолиза в жировой ткани вследствие увеличения продукции катехоламинов, которое характерно для развития стресс-реакции. Вертикальная фиксация крыс сопровождалась увеличением содержания триацилглицеридов в печени, уменьшением количества эфиров жирных кислот и эфиров холестерина, возрастанием содержания лизофосфатидилхолина и лизофосфатидилэтаноламина (1,5-2 раза).

При введении экспериментальным животным экстракта из отжима плодов рябины (3-я группа) в период стресса наблюдалась коррекция биохимических нарушений. Снижалось содержание СЖК до контрольных величин, что может быть обусловлено ингибированием липаз полифенолами препарата, уменьшилось количество лизофракций фосфолипидов и возрастание содержания фосфатидилхолина. Увеличение количества эфиров жирных кислот свидетельствует о сохранении этерифицирующей функции печени и биосинтеза фосфолипидов. Таким образом, экстракт из отжима плодов рябины показал антистрессорное действие, которое определяется входящими в его состав биологически активными природными полифенолами, дающими возможность сохранения метаболических реакций липидного обмена.

---

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА, ТЕХНОЛОГИИ И НОРМ КАЧЕСТВА СИРОПА НА ОСНОВЕ ЛИГНАНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ – СОКА СВЕЖИХ ПЛОДОВ ЛИМОННИКА КИТАЙСКОГО

Морозов Ю.А.

ФГБОУ ВО Северо-Осетинский государственный университет им.К.Л.Хетагурова, Владикавказ,  
moroz52@yandex.ru

В настоящее время в силу сложившейся сложной геополитической обстановки в мире, разработка отечественных лекарственных препаратов становится всё более актуальным вопросом. При этом одним из перспективных направлений в данной области является заготовка лекарственного растительного сырья (ЛРС), производство на его основе эффективных фитопрепаратов и утилизация соответствующих отходов производства. Для реализации данной стратегии необходимо разрабатывать технологии, позволяющие комплексно использовать ЛРС, так как в большинстве случаев в отходах могут содержаться биологически активные вещества (БАВ) в достаточно большом количестве.

Так, на базе семян лимонника китайского (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.), нами предложена технология получения углекислотного экстракта и эфирного масла с последующим введением их в состав трансдермальных лекарственных форм (ЛФ) (патент РФ № 2715894), а также разработан состав и технология таблеток для рассасывания (заявка на патент РФ № 2019109748 от 02.04.2019). Процесс заготовки семян подразумевает получение свежего сока, содержащего достаточное количество разнообразных групп БАВ (органические кислоты, различные фенольные соединения, витамины, полисахариды, макро- и микроэлементы, лигнаны), позволяющих использовать его в качестве исходного сырья для производства фитопрепаратов и биологически активных добавок к пище тонизирующего и общеукрепляющего действия, в кондитерской и ликероводочной промышленности.

Поэтому целью работы явилась разработка и фармацевтико-технологические исследования скорректированной ЛФ – сиропа на основе сока свежих плодов лимонника.

С помощью биофармацевтических исследований *in vitro* (диализ через полупроницаемые мембраны) выбран оптимальный состав сиропа (на 500,0 г продукта): фруктоза 258,3; вода очищенная 91,7; сок свежих плодов лимонника 150,0. С помощью микробиологических исследований доказана целесообразность введения в ЛФ в качестве консерванта натрия бензоата в 0,5% концентрации от общей массы ЛФ. Следует отметить, что для предложенного состава определены такие показатели как осмотическая активность (6760 mOsmol/kg), плотность (1,365 г/см<sup>3</sup>), динамическая вязкость (810,604 мПа·с).

Оценку качества фитопрепарата (как и биофармацевтические исследования) проводили в соответствии с методикой, приведенной в Государственной Фармакопее Российской Федерации 14 издания путем определения количественного содержания суммы лигнанов в пересчете на схизандрин (по дифенилу) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. В качестве основной, данная группа БАВ выбрана в связи с тем, что лигнаны являются доминирующими веществами лимонника (содержатся во всех частях растения) как по содержанию, так и по проявлению адаптогенного действия. Лигнаны – это димерные соединения фенольной природы, состоящие из двух фенилпропановых фрагментов (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>), связанных между собой β-углеродными атомами боковых цепей.

Количественное содержание суммы лигнанов в пересчете на схизандрин (по дифенилу) составило: в соке свежих плодов – 0,531% ± 0,011%; в сиропе – 0,158% ± 0,008%.

Экспериментально на клетках *Paramecium caudatum* установлено, что предложенный сироп токсические явления не вызывает и обладает явно выраженным адаптогенным действием.

Таким образом, на основании результатов всесторонних экспериментальных исследований предложен сироп адаптогенного действия на основе сока свежих плодов лимонника китайского.

---

## ЧЕРНУШКА ПОСЕВНАЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СЫРЬЕВОЙ ИСТОЧНИК ФЛАВОНОИДОВ

Мубинов А.Р., Авдеева Е.В., Куркин В.А.

ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет  
Министерства здравоохранения РФ, Самара, mubinov.arthur@gmail.com

В настоящее время возрастает интерес к проблеме поиска в мире растений новых источников биологически активных соединений и рационального использования соответствующих видов лекарственного растительного сырья. Одним из перспективных видов является чернушка посевная (*Nigella sativa* L.), сем. Лютиковые (*Ranunculaceae*). Наибольшую изученность и популярность имеют масло и семена чернушки, для которых описаны гепатопротекторное, липолитическое, противомикробное, антиоксидантное, противовирусное и другие виды фармакологического действия.

При этом недостаточная изученность надземной части (травы чернушки посевной) не позволяет использовать весь потенциал растения в медицинской и фармацевтической практике, тем более с позиции комплексной переработки. В этой связи целью настоящего исследования являлось изучение фитохимического состава травы чернушки посевной.

Объектом исследования служила трава чернушки посевной («Нора здоровья», Египет), выращенная в Ботаническом саду Самарского университета; сырье заготовлено в июле 2021 г. в период цветения и плодоношения. Для обнаружения и идентификации соединений фенольной природы были использованы колоночная и тонкослойная адсорбционная хроматография (ТСХ) и спектрофотометрия. С помощью специфических реактивов (3% спиртового раствора  $AlCl_3$  и раствора диазореактива) методом ТСХ было выявлено наличие флавоноидов. Путем сравнения с достоверно известными образцами веществ к ним отнесены рутин, никотифлорин и другие. Методом колоночной (препаративной) хроматографии с использованием различных сорбентов (силикагеля, полиамида, сефадекса) и элюентных смесей в различных соотношениях (хлороформ, этанол, вода) получены путем кристаллизации и перекристаллизации из различных растворителей доминирующие по содержанию в сырье флавоноидные соединения.

С учетом получения характерных для флавоноидов спектров спирто-водных извлечений из сырья (что также подтверждено спектрами выделенных индивидуальных соединений) была разработана методика количественного определения методом дифференциальной спектрофотометрии суммы флавоноидов в траве чернушки посевной в пересчете на стандартный образец рутина. Содержание суммы флавоноидов в сырье чернушки посевной в пересчете на рутин составило  $1,17 \pm 0,05\%$ . Ошибка единичного определения с доверительной вероятностью 95% составила  $\pm 1,45\%$ .

Полученные данные о химическом составе травы чернушки посевной показывают перспективность ее дальнейшего изучения для введения в научную фармацию в качестве официального вида сырья, и, соответственно, решения комплекса взаимосвязанных вопросов - стандартизации, комплексного использования растения, получения и изучения лекарственных препаратов на основе травы чернушки посевной (*Nigella sativa* L.)

---

## ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ ЭКСТРАКТЫ ИЗ ФУКУСА ПУЗЫРЧАТОГО НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Облучинская Е.Д.

ФГБУН Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, okaterine@ya.ru

Морские водоросли рассматриваются как природный источник биологически активных соединений и достаточно давно используются в составе пищевых и лечебно-профилактических компонентов. Бурые водоросли представляют собой выдающийся источник биоактивных метаболитов, которые могут стать функциональными лидерами в разработке новых фармацевтических препаратов. Некоторые виды морских водорослей, в частности фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus* L.), являются одним из важнейших источников коммерчески преобладающих метаболитов, в основном полисахаридов и полифенолов. Среди многочисленных классов водорослей семейство бурых водорослей (Phaeophyceae) занимает видное место по содержанию фенольных соединений. Важнейшие категории фенолов бурых водорослей включают флоротаннины, терпеноиды, фенольные пигменты и бромфенолы.

Разработка экологически чистого и эффективного метода экстракции биологически активных соединений из фитобиомассы – современное направление в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности. Природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР) являются перспективной альтернативой органическим растворителям и приобрели популярность, поскольку являются экологически чистыми, нетоксичными, биоразлагаемыми и регенерируемыми. Растворимость целевых соединений в ПГЭРах значительно увеличивается за счет образования водородных связей с растворенными веществами.

Цель исследования – применить природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР) для одновременного извлечения гидрофильных и липофильных биоактивных соединений бурых арктических водорослей (на примере *F. vesiculosus* L. Баренцева моря) и оценить эффективность экстракции разными методами по содержанию полифенолов, а также аскорбиновой кислоты и фукоксантина.

Объектом исследования служили свежие бурые водоросли *Fucus vesiculosus* L., собранные в прибрежном районе губы Завалишина Баренцева моря (Россия). ПГЭР готовили методом совместного нагревания: в качестве акцептора использовали молочную кислоту, глюкозу или хлорид холина в качестве доноров водородной связи в соответствующем мольном соотношении.

ПГЭР были подобраны для одновременного извлечения гидрофильных полифенолов и липофильных биоактивных соединений из *F. vesiculosus* на основании серии предварительных экспериментов. Эффективность экстракции двумя способами (экстракцию с помощью ультразвука и традиционную экстракцию мацерацией) оценивали по содержанию аскорбиновой кислоты, фукоксантина и флоротаннинов. Биологическую активность экстрактов контролировали с помощью теста на антиоксидантную активность. Кроме того, было изучено влияние некоторых соединений на антиоксидантную активность и способность ПГЭР стабилизировать экстракты.

Установлено, что ПГЭР, помимо их нейтрального воздействия на окружающую среду, обеспечивают синергический эффект и высокую стабильность компонентов экстрактов, сохраняя их биологическую активность.

---

## УЭЖХ-МСВР АНАЛИЗ СОСТАВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРЕПАРАТА «ЭВКАЛИМИН», ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАСТЕНИЙ *EUCALYPTUS VIMINALIS* L.

Осипов В.И., Мизина П.Г.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, ossipov@utu.fi

Растения эвкалипта (Myrtaceae) синтезируют и накапливают большое количество различных фенольных соединений, включая производные флороглюцина: макрокарпали, эуглобали, эвкалиптоны, сидероксилон и другие, которые состоят из формилированных флороглюцинов с присоединенными фрагментами монотерпенов и сесквитерпенов. Установлено, что производные флороглюцина обладают широким спектром биологической активности. Во Всероссийском институте лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР, Москва, Россия), на основе экстракта неполярных метаболитов из растений *Eucalyptus viminalis*, был разработан препарат «Эвкалимин», который обладает фармакологической активностью и широко применяется в дерматологии, стоматологии, генетологии, урологии, проктологии, при лечении воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей. Однако, состав соединений «Эвкалимина», определяющих его фармакологическую активность, был изучен недостаточно полно.

В связи с этим, целью исследования был анализ химического состава «Эвкалимина» с применением системы ультраэффективной жидкостной хроматографии (УЭЖХ) в сочетании с масс-спектрометрией высокого разрешения (МСВР) (Thermo Scientific Q Exactive Orbitrap mass spectrometer). Этот метод дает очень точную и надежную МС и МС/МС информацию для достоверной идентификации метаболитов растений.

В результате, в составе «Эвкалимина» были обнаружены и идентифицированы 24 фенольных соединений (изопентилдиформилфлороглюцин, макрокарпали А, В, С, G, I, J, am1, каллистенон К, сидероксилон и другие), а также п-кумароил и ферулоил производные лактона дегидроурсоловой кислоты (Ossipov et al., 2020). В количественном отношении, основными соединениями «Эвкалимина» были макрокарпали А и В, лактон дегидроурсоловой кислоты и его фенольные производные.

Таким образом, обнаруженные ранее противомикробная и противовоспалительная активности препарата «Эвкалимина» вероятно обусловлены присутствием фенольных соединений производных флороглюцина. Кроме того, результаты изучения химического состава свидетельствуют о том, что фармакологическая активность «Эвкалимина» может быть значительно более разнообразной, чем это было установлено ранее.

### Литература:

1. Ossipov, V.I., Koivuniemi, A., Mizina, P.G., Salminen, J.-P. (2020). UPLC-PDA-Q Exactive Orbitrap-MS profiling of the lipophilic compounds product isolated from *Eucalyptus viminalis* plants. *Heliyon* 6, e05768. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05768>.



## ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ *RUMEX TIANSHANICUS* LOSINSK

**Осканов Б.С., Корулькин Д.Ю.**

НАО Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
phycion@gmail.com

Во флоре Казахстана описано 23 вида растений рода *Rumex* L., произрастающих по всей территории республики.

В различные годы был частично изучен состав 17 отечественных видов щавелей. Для различных видов *Rumex* L. описаны антисептическая, бактерицидная, противовирусная, фунгицидная, Р-витаминная, детоксикационная, рострегулирующая, противовоспалительная, противоопухолевая и фотосенсибилизирующая активность; слабительное, вяжущее, кожное и радиозащитное действие. Однако, несмотря на столь широкий спектр описанного биологического действия этих видов, в официальную медицину внедрено только 2 вида щавелей: *Rumex confertus* Willd. и *Rumex tianschanicus* Losinsk. Для производства фитопрепаратов рекомендовано использовать корни и корневища этих видов.

Целью нашего исследования было расширение сырьевой базы казахстанского вида щавеля тяньшанского. Для этого нами было проведено сравнительное фитохимическое исследование содержания основных групп биологически активных веществ *Rumex tianschanicus* Losinsk. по органам растения (корни, стебли, листья, соцветия). Растительное сырье было заготовлено нами в 2021 г в предгорьях Заилийского Алатау.

Для количественного анализа БАВ нами были использованы фармакопейные и общепринятые методики. Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица. Фитохимический состав БАВ щавеля тяньшанского по органам растения, в % от массы абсолютно сухого сырья

	Корни	Стебли	Листья	Соцветия
Аминокислоты	2.04	2.31	2.68	1.56
Антрахиноны	4.53	3.02	2.16	1.92
Белки	8.58	7.96	7.12	5.34
Витамин С	0.15	0.24	0.28	0.13
Дубильные вещества	22.36	20.83	16.54	4.07
Кумарины	1.74	1.38	0.91	0.36
Полисахариды	4.91	5.25	4.37	3.62
Стероиды	1.22	1.57	1.45	0.38
Феноло- и окси-коричные кислоты	0.09	0.14	0.16	0.11
Флавоноиды	3.07	4.46	4.82	4.54
Эфирные масла	0.68	0.85	1.13	1.26

Из данных таблицы видно, что максимальное содержание антраценпроизводных, белков, гидролизуемых танинов и кумаринов накапливается в корневой системе растения; для надземных органов щавеля отмечено преобладание по содержанию аминокислот, антоцианидинов, аскорбиновой кислоты, полисахаров, стероидов, феноло- и оксикоричных кислот, флавоноидов и эфирных масел.

Представленные данные свидетельствуют о целесообразности промышленной заготовки не только корней и корневищ щавеля тяньшанского для производства фитопрепаратов, но и надземной части растения, которая, в качестве сырья для производства витаминных препаратов, и препаратов противовирусного, противовоспалительного и противоопухолевого действия является более перспективной.

## КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ АНТРАХИНОНОВЫХ МЕТАБОЛИТОВ КАЗАХСТАНСКИХ ВИДОВ *RUMEX L.*

**Осканов Б.С., Құрайыш Т.А., Корулькин Д.Ю.**

НАО Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
physcion@gmail.com

Все антрацен-производные в различной степени обладают инсектицидной, антидерматической, противовоспалительной и противоопухолевой активностью, притом установлено, что кожное действие более ярко выражено для антронов и антранолов, слабительный эффект характерен для гликозидированных производных, в особенности димерной структуры, фотосенсибилизирующая активность более выражена для олигомеров антрахиноновой природы.

На территории Казахстана произрастает большое количество богатых антрахинонами растений, относящихся к семействам бобовые, норичниковые, мареновые, крушиновые и гречишные, причем последние, наиболее широко представлены в отечественной флоре.

Целью нашего исследования было сравнительное исследование компонентного состава антрахиноновых метаболитов в казахстанских видах рода *Rumex L.*, имеющих промышленные запасы.

Экстракцию антрахинонов проводили по стандартной методике, хроматографическим разделением гексанового и хлороформного экстрактов растительного сырья на силикагеле с последующим выделением индивидуальных антрацен-производных и их идентификацией с использованием аутентичных образцов методом ВЭЖХ на колонке с Lichrospher RP<sub>18</sub>, при градиентном элюировании водным метанолом в качестве подвижной фазы, состава (от 45:55 до 80:20 за 45 мин) с использованием УФ детектора (254 нм).

Полученные данные представлены в таблице, в % от содержания в абсолютно сухом сырье:

	<i>Rumex tianschanicus</i> Losinsk	<i>Rumex confertus</i> Willd.	<i>Rumex acetosa</i> L.
1-О-α-L-арабинопиранозил-3-метил-6,8-диоксиантрахинон	0.181	-	0.142
1-О-β-D-глюкопиранозил-6-метил-3,8-диоксиантрахинон	0.235	0.168	0.097
5-О-β-D-глюкопиранозил-2-метил-4-оксиантрахинон	0.268	0.144	-
1-О-β-D-глюкопиранозил-6,8-диметокси-3-метилантрахинон	0.323	0.085	0.113
2-карбоксо-4,5-диоксиантрахинон	0.217	0.418	0.325
3-метил-5,7-диметокси-2,4-диоксиантрахинон	0.176	-	0.064
3-метил-6-метокси-1,8-диоксиантрахинон	0.279	-	0.101
2-метил-4,5-диоксиантрахинон	0.341	0.383	0.428
6-метил-1,3,8-триоксиантрахинон	0.464	0.229	0.356
4,5-диокси-2-оксиметилантрахинон	0.402	0.296	0.287

Из данных таблицы следует, что изучаемые виды щавелей характеризуются разнообразным составом веществ антрахиноновой природы, обладающих широким спектром физиологического действия, что указывает на перспективность использования казахстанских видов в качестве сырья для производства фитопрепаратов.

## ВЫДЕЛЕНИЕ, УСТАНОВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ОЦЕНКА АНТИАГРЕГАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФЛАВОНОИДНОЙ ПРИРОДЫ

Повыдыш М.Н., Орлова А.А., Уэйли А.К., Понкратова А.О., Лукашов Р.И., Шпакова В.С.,  
Богоутдинова А.М., Гамбарян С.П.

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Минздрава России, Санкт-Петербург, maria.povydysh@pharminnotech.com

Отечественная фармацевтическая промышленность производит фитопрепараты, как правило, содержащие сумму биологически активных веществ (далее – БАВ). Развитие хроматографических методов анализа позволило осуществлять разделение веществ, содержащихся в многокомпонентных природных смесях и выделять чистые вещества из природного сырья. Фармакологические исследования показывают их значительно более высокую эффективность по сравнению с суммарными экстрактами.

Целью данного исследования являлась оценка возможности создания препаратов антиагрегантного действия на основе индивидуальных природных соединений флавоноидной природы.

Для достижения данной цели осуществляли препаративное выделение, подтверждение структуры и наработку индивидуальных природных соединений из следующих лекарственных растений (ЛР): морощка обыкновенная (*Rubus chamaemorus* L.), касатик молочно-белый (*Iris lactea* Pall.) и стальник полевой (*Ononis arvensis* L.).

Предварительный фитохимический анализ ЛР проводили методами ВЭТСХ и ВЭЖХ-УФ. Выделение веществ в индивидуальном виде проводили с использованием открытой колоночной хроматографии на сорбентах с различной селективностью. Полученные после колоночной хроматографии фракции подвергали препаративной ВЭЖХ. При установлении структуры выделенных веществ применяли УФ-спектроскопию, ЯМР-спектроскопию и масс-спектрометрию высокого разрешения. Данные о структуре выделенных соединений позволили выявить перспективные для дальнейшей наработки БАВ, а также провести предварительный скрининг их фармакологического потенциала методами *in silico*. По результатам скрининга был выбран ряд веществ для исследования их действия на тромбоциты: апигенин, апигенин-8-С-(4'-О-β-D-глюкопиранозил)-β-D-глюкозид, 5-гидрокси-7,4'-диметоксифлавонон-8-С-(2-О-α-L-рамнопиранозил)-β-D-глюкопиранозид (изоэмбинин), 2''',3'''-диацетилэмбинин, 3''',4'''-диацетилэмбинин, эмбинин, 2'''-О-ацетилэмбинин, 2''',4'''-О-ацетилэмбинин, 3'''-О-ацетилэмбинин, формонетин-7-О-β-D-глюкопиранозид. Предпочтение отдавали новым природным соединениям или соединениям, впервые выделенным из исследуемых ЛР.

Исследование антиагрегантной активности проводили на тромбоцитах человека, выделенных из крови здоровых доноров. Агрегацию тромбоцитов оценивали методом регистрации изменения малоуглового светорассеяния. Уровень активации тромбоцитов оценивали по степени связывания активированных интегринов αIIbβ3 с фибриногеном, меченым флуоресцентным красителем Alexa-Fluor 647. Для оценки экстернализации фосфатидилсерина (PS) использовали аннексин V, конъюгированный с фикоэритрином. Анализ проводили на проточном цитофлуориметре. Для оценки влияния исследуемых соединений на апоптоз тромбоцитов, исследовали активацию каспазы 3 методом Вестерн-блот анализа.

По результатам изучения влияния выделенных веществ на ингибирование активации тромбоцитов на различных моделях, наиболее перспективными соединениями для дальнейшей разработки препаратов антиагрегантного действия, в частности препаратов для профилактики и лечения последствий новой коронавирусной инфекции, оказались формонетин-7-О-β-D-глюкопиранозид, эмбинин и его ацетаты.

---

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ *PERSICARIA LAPATHIFOLIA*, ПРОЯВЛЯЮЩИЕ ПРОТИВОВИРУСНЫЕ СВОЙСТВА

Проценко М.А., Кукушкина Т.А.\*, Филиппова Е.И., Лобанова И.Е.\*,  
Храмова Е.П.\*, Мазуркова Н.А.

ФБУН Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»  
Роспотребнадзора, Новосибирская обл., р.п. Кольцово

\*ФГБУН Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск,  
protsenko\_ma@vector.nsc.ru

Вирус гриппа был и остается трудно контролируемой инфекцией, в том числе, по причине быстропротекающих мутаций, из-за чего формируется устойчивость штаммов вируса гриппа к противовирусным препаратам. Поэтому поиск новых более эффективных противогриппозных средств будет актуален всегда.

Перспективными источниками активных веществ, обладающих противовирусными свойствами в отношении вируса гриппа, являются высшие растения. Горец развесистый *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarb. из семейства Polygonaceae содержит в своем составе халконы, флавонолы, танины, катехины и галловую кислоту. Среди агликонов флавоноидов идентифицированы кверцетин и кемпферол [0,0,0].

Из высушенной травы *Persicaria lapathifolia*, собранной в окрестностях села Березовка Тогучинского района Новосибирской области в 2018 году, получали экспериментальный образец препарата с повышенным содержанием фенольных соединений. Растительное сырье последовательно экстрагировали 96 %, 70 % и 50 % этиловым спиртом. После упаривания этанола водный экстракт обрабатывали хлороформом. Затем сгущенный водный экстракт обрабатывали этилацетатом. Для удаления воды к экстракту прибавляли безводный сульфат натрия и отфильтровывали. Этилацетат отгоняли до начала образования осадка. Тонкой струей вливали полученный образец в хлороформ. Выпавший осадок желтого цвета отфильтровывали и высушивали под вакуумом [0].

Полученный образец исследовали на токсичность и противовирусную активность *in vitro* в отношении вируса гриппа А. Вирусингибирующие свойства оценивали по изменению инфекционности вируса гриппа (титра) в монослое клеток MDCK в профилактической схеме внесения образцов и вирусов. Индексы нейтрализации вируса гриппа штаммов A/Aichi/2/68 (H3N2) и A/chicken/Kurgan/05/2005 (H5N1) под действием экспериментального образца препарата составляли 4,50 и 3,25 lg соответственно.

Установленные противовирусные свойства образца препарата *Persicaria lapathifolia* являются перспективными для дальнейшего изучения с целью разработки технологии новых противогриппозных препаратов.

### Литература:

1. Высочина Г.И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишные (Polygonaceae Juss.) Сообщ. III. Род Горец – *Persicaria* Mill. // Turczaninowia. 2008. Т. 11. №4. С. 129–137.
2. Кукушкина Т.А., Зыков А.А., Обухова Л.А. Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.) как источник лекарственных средств // Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения: материалы VII Междунар. съезда. СПб., 2003. С. 64–69.
3. Лукша Е.А. Биологическая активность видов *Persicaria* и *Polygonum* (Polygonaceae) флоры Сибири // Растительные ресурсы. 2015. Т. 5. № 5. С. 611–619.
4. Лобанова И.Е., Филиппова Е.И., Кукушкина Т.А., Проценко М.А., Храмова Е.П., Мазуркова Н.А., Высочина Г.И. Сравнительная оценка противовирусной активности экстрактов некоторых высших растений в отношении вируса гриппа А *in vitro* // Химия в интересах устойчивого развития. 2021. Т. 29. № 6. С. 675–682.

---

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ БАРХАТЦЕВ ОТКЛОНЕННЫХ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ

Савельева А.Е., Куркина А.В.

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, anevsavelieva@gmail.com

Лекарственное растительное сырье (ЛРС) широко используется в современной фармацевтической промышленности для получения целого ряда лекарственных растительных препаратов, эффективных при лечении многих заболеваний и оказывающих минимальные побочные эффекты. Особый интерес представляет ЛРС, содержащее флавоноиды, благодаря широкому спектру фармакологической активности.

Бархатцы отклонённые (*Tagetes patula* L.) являются ценным источником биологически активных соединений, в том числе и флавоноидов. Интерес к бархатцам отклоненных связан также с многообразием его сортовых форм. Однако имеющиеся на данный момент научные работы не полностью охватывают разнообразие сортовых форм бархатцев.

Целью исследования являлось сравнительное фитохимическое исследование надземной части бархатцев отклоненных, оставшейся после сбора цветков.

Нами были исследованы извлечения из травы восьми различных сортов бархатцев отклоненных. Согласно результатам ТСХ анализа все сорта имеют схожий химический состав. Определено, что наиболее информативными являются хроматограммы, полученные в системе растворителей: хлороформ – этанол – вода (25:18:2), просматриваемые при длине волны 366 нм до и после обработки спиртовым раствором  $AlCl_3$ .

Нами было установлено, что флавоноидный состав водно-спиртового извлечения из травы бархатцев отклонённых значительно отличается от водно-спиртового извлечения из цветков бархатцев отклоненных, в котором методом ТСХ в присутствии растворов стандартных образцов подтверждено наличие патулетина и патулетрина. При этом в водно-спиртовом извлечении из травы данного растения обнаружены другие флавоноиды, выделение и идентификация которых будет проведена в ходе дальнейших исследований.

С целью разработки методики количественного определения суммы флавоноидов в траве бархатцев отклоненных были изучены УФ-спектры раствора водно-спиртового извлечения из данного сырья. Установлено, что вещества, близкие по спектральным характеристикам к рутину, во многом определяют характер кривой поглощения водно-спиртового извлечения из травы бархатцев отклоненных. Определено, что в УФ-спектрах и раствора рутин, и раствора исследуемого извлечения с добавлением спиртового раствора алюминия хлорида наблюдается батохромный сдвиг длинноволновой полосы флавоноидов в область 404-408 нм.

В УФ-спектре водно-спиртового извлечения из травы бархатцев отклоненных в дифференциальном варианте обнаруживается максимум поглощения при длине волны 412 нм  $\pm 2$  нм, который практически соответствует максимуму поглощения спиртового раствора рутин (дифференциальный вариант).

Результаты исследования зависимости различных параметров экстракции на выход флавоноидов из сырья показали, что оптимальными параметрами экстракции являются: степень измельчения сырья до размера частиц 2 мм, однократное извлечение 70% этиловым спиртом на кипящей водяной бане в течение 45 минут в соотношении «сырье-экстрагент» - 1:50. Определено, что содержание суммы флавоноидов в исследуемых образцах травы бархатцев отклоненных варьирует от  $1,68 \pm 0,05\%$  до  $2,94 \pm 0,05\%$  (в пересчете на рутин). Ошибка единичного определения содержания суммы флавоноидов в траве бархатцев отклоненных с доверительной вероятностью 95 % составляет  $\pm 3,86\%$ .



---

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНИЛПРОПАНОИДОВ В СЫРЬЕ РОДИОЛЫ РОЗОВОЙ

Савченко О.М., Цыбулько Н.С.

ФГБНУ Всероссийский институт лекарственных и ароматических растений, Москва,  
nordfenugreek@gmail.com

В целях сохранения и восстановления генофонда родиолы розовой в ФГБНУ ВИЛАР проводятся комплексные исследования биологических особенностей растений из разных регионов, при возделывании в условиях полевого севооборота.

В корневищах родиолы розовой содержатся органические кислоты, эфирное масло, дубильные вещества. Основными действующими веществами являются фенилпропаноиды: розавин, салидрозид, триандрин, розин, розарин, тирозол, росиридин, гидроксирозин и др. Фенилпропаноиды обладают адаптогенным и стимулирующим действием. Фенилпропаноиды обладают выраженными гепатопротекторными свойствами, активируют восстановительные процессы в печени. Отмечена также иммуномодулирующая и антиоксидантная активность фенилпропаноидов родиолы розовой. Органоминеральные и микроудобрения оказывают положительное действие на биопродуктивность лекарственных растений.

Цель исследования: изучение биопродуктивности образцов различных популяций родиолы розовой и изучение их реакции на экзогенные обработки.

Методика проведения исследований: Опыты проводились в 2016-2021 гг. в ФГБНУ ВИЛАР. Размещение делянок последовательное. Повторность 4-кратная, площадь опытной делянки 8 м<sup>2</sup>. В опытах изучалось комплексное влияние баковых смесей органо-минерального удобрения ЭкоФус (1,5 л/га), микроудобрений Силиплант (0,3 л/га) и Феровит (0,45 л/га) в различных сочетаниях на биопродуктивность родиолы. Контроль – вода. Количественное определение фенилпропаноидов в сырье (в пересчете на удельный коэффициент поглощения гидроксирозина), определяли спектрофотометрическим методом, разработанным в ВИЛАР. Статистическая обработка проводилась методом двухфакторного дисперсионного анализа по методике Доспехова с использованием программного обеспечения MS Excel. Популяциям родиолы присвоены следующие обозначения: А – культивируемая популяция ВИЛАР (Алтай, 1980), В – культивируемая популяция из ботанического сада СГУ им. Питирима Сорокина, С – популяция из Полярного Урала (Кировск, ПАБСИ), D – культивируемая популяция ботанического сада г. Инсбрук, Австрия.

Результаты: Масса корневищ с корнями у растений родиолы розовой в зависимости от происхождения к четвертому году жизни имела следующие показатели: у растений родиолы популяций А и С в среднем составляла 30-31 г.; у родиолы розовой популяции D весили в среднем 28,5 г. Низкие значения массы корневищ с корнями наблюдаются у популяции В (24,4 г). Прибавка по массе у растений из арктического региона свидетельствует об интродукционном эффекте и может со временем исчезнуть. Содержание фенилпропаноидов в сырье наиболее высокое у популяции из республики Коми (5,4 %), на втором месте популяция из ПАБСИ (4,4 %), популяции из Австрии и ВИЛАР содержат, соответственно 4,1 % и 3,9 % фенилпропаноидов в сырье. Урожайность корневищ с корнями у растений, обработанных микроудобрениями, повышается в 1,4-1,5 раза по сравнению с контролем. Применение микроудобрений практически не влияет на содержание фенилпропаноидов в сырье по сравнению с контрольным вариантом.

Выводы: Наиболее перспективны для возделывания популяции D и В. Популяция А имеет высокие показатели по устойчивости и урожайности, но содержание БАВ пониженное по сравнению с другими образцами. Учитывая увеличение массы подземной части обработанных растений родиолы по сравнению с контролем, можно рекомендовать применение микроудобрений в указанных дозировках при культивировании родиолы розовой в НЧЗ России.

---

## ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ ЦИКОРИЯ И ТОПИНАМБУРА – ИСТОЧНИК ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сайбель О.Л., Радимич А.И., Даргаева Т.Д., Маврина П.О.  
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных  
и ароматических растений, Москва, saybel@vilarnii.ru

Поиск новых источников получения биологически активных веществ (БАВ) и создание на их основе лекарственных средств является одним из перспективных направлений фармацевтической науки. Являясь веществами природного происхождения, вторичные метаболиты растений оказывают выраженный фармакологический эффект при минимальном проявлении побочных реакций.

В качестве сырья для получения фармацевтических субстанций служат различные части растений дикорастущих и культивируемых видов. Наряду с этим, интерес представляет использование вторичного сырья, в частности пищевых растений – цикория обыкновенного и топинамбура.

Цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.) культивируется в промышленных масштабах для получения корней, которые после обжаривания перерабатываются для производства «заменителя кофе». Топинамбур (*Helianthus tuberosum* L.) возделывается для получения клубней, которые используются для производства пищевых продуктов и биологически активных добавок. Общей биологической особенностью подземных органов данных видов растений является накопление инулина, что также определяет единые пути их переработки для получения чистого инулина и инулинсодержащих функциональных продуктов. В свою очередь, при заготовке подземных частей растений листья цикория и трава топинамбура, имеющие значительную биомассу, служат отходом производства и подлежат утилизации.

В результате проведенных нами исследований с использованием метода ВЭЖХ-УФ-МС/МС в листьях цикория идентифицировано 34 соединения, представленных гидроксикоричными кислотами, флавоноидами и оксикумаринами. Доминирующими по содержанию веществами являются цикориевая, хлорогеновая и кафтаровая кислоты, при этом, оксикумарины (эскулетин, цикориин) представлены в следовых количествах. Сумма фенольных соединений в пересчете на цикориевую кислоту составляет не менее 4 % (метод прямой спектрофотометрии).

Аналогичное исследование травы топинамбура позволило установить наличие 18 соединений, относящихся к гидроксикоричным кислотам и флавоноидам. Основными веществами являются хлорогеновая, изохлорогеновая А и изохлорогеновая С кислоты, среди которых по содержанию доминирует хлорогеновая кислота. Сумма фенольных соединений в пересчете на хлорогеновую кислоту также составляет не менее 4 % (метод прямой спектрофотометрии).

Таким образом, в результате проведенных исследований показана перспективность использования вторичного сырья цикория обыкновенного и топинамбура в качестве источника получения фармацевтических субстанций на основе фенольных соединений. В настоящее время из листьев цикория обыкновенного и травы топинамбура нами разработаны способы получения сухих экстрактов и проводятся исследования в направлении разработки лекарственных средств иммуномодулирующего действия.

Использование вторичного сырья цикория обыкновенного и топинамбура обеспечит комплексную переработку данных растений и позволит разработать ресурсосберегающие технологии получения лекарственных средств и функциональных пищевых продуктов.

Данная работа выполняется согласно плану научно-исследовательской работы ФГБНУ ВИЛАР по теме «Фитохимическое обоснование ресурсосберегающих технологий переработки лекарственного растительного сырья и рационального использования биологически активных веществ растительного происхождения» (FGUU-2022-0011).

---

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТОЦИАНОВ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ ГУБНЫХ ПОМАД

Саласина Я.Ю., Дейнека В.И., Дейнека Л.А.

ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Белгород, salasina@bsu.edu.ru

Антоцианы представляют собой группу полифенольных соединений класса флавоноидов. Они нетоксичны, растворимы в воде и отвечают за розовую, красную, фиолетовую, пурпурную и синюю окраску фруктов, овощей, корней и лепестков цветков. Их цвет определяется количеством гидроксильных групп во флавилиевой основе (и степенью их метилирования), типом, количеством и положением гликозидных радикалов, включая ацилирование этих радикалов алифатическими или ароматическими кислотами. В отличие от других флавоноидов, антоцианы способны к таутомерным и иным превращениям при изменении рН. Так, при  $\text{pH} < 1$  антоцианы находятся в наиболее устойчивой при хранении форме – флавилиевой. Именно эта форма обеспечивает окраску антоцианов в красные цвета с различными, зависящими от строения оттенками. Флавилиевая форма при повышении рН постепенно замещается бесцветной формой псевдооснования, которое быстро превращается в слабоокрашенную *цис*-халконную форму, медленно изомеризующуюся в *транс*-халконную форму, также слабоокрашенную. Если антоцианы ацилированы производными коричной кислоты, то параллельно с образованием псевдооснования происходит депротонирование флавилиевой формы до зависящих от строения антоциана хиноноидных структур. Изначально незаряженные хиноноидные формы при дальнейшем повышении рН превращаются в заряженные хиноноидные структуры, которые также интенсивно окрашены и могут быть использованы при получении красителей с окраской от пурпурной до синей, зеленой (смесь синей и желтой) и желтой. Во многих отраслях промышленности возникает необходимость замены синтетических красителей натуральными, что и вызвало за последние несколько лет большой интерес к антоцианам и их производным как натуральным красителям (Е 163) для пищевой и косметической промышленности.

Нами выполнено исследование по использованию антоцианов в качестве красителей при приготовлении губной помады. Основу губной помады составляла смесь пчелиного воска и канделильского воска. В качестве растительных масел использовали: масло ши, жожоба, касторовое масло, обладающие регенерирующими и целым рядом других полезных свойств. В качестве красителя использовали сухие формы антоцианов фиолетовой моркови, содержащие 3-гликозиды цианидина, в том числе и ацилированные синаповой и феруловой кислотами, инкапсулированные в природную полимерную матрицу – мальтодекстрин. Строго говоря, термин «инкапсулированные» применительно к антоцианам не корректен, поскольку в действительности роль матрицы состоит в пространственном разделении молекул антоцианов углеводными фрагментами матрицы. Такое распределение антоцианов обеспечивает отсутствие полимеризации при хранении, т.е. более высокую сохранность, и чистые тона окраски, поскольку при аналогичной высокой концентрации антоцианов в водных растворах из-за стекинга окраска должна превратиться практически в черную. Современная помада обязана обладать ухаживающим эффектом, поэтому, помимо базовых масел и восков, были добавлены витамины А и Е. Для приятного аромата при нанесении помады использовали эфирные масла растений. Все ингредиенты смешивали в необходимых количествах, при температуре, не выше 50°C, после, смесь помещали в специальную форму для заливки губной помады. После охлаждения доставали тубиком для губной помады. Полученные натуральные губные помады обладают высокой антиоксидантной активностью, высокой сохранностью и прекрасной укрываемостью.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы «УМНИК» Фонда содействия инновациям, № У-69083.*

---

## ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ КОРМОВЫХ ТРАВ НА БИОПЛЕНКООБРАЗОВАНИЕ ПАТОГЕННЫХ ШТАММОВ КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ

Самойлова З.Ю., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н.

Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь,  
samzu@mail.ru

Актуальные задачи современного животноводства включают оптимизацию состава кормовых смесей с целью повышения продуктивности и здоровья животных. Один из эффективных подходов может быть реализован за счет включения в питательный рацион животных трав, препятствующих адгезии патогенов на стенках кишечника.

В этом отношении особый интерес представляют кормовые травы левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*), эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) и козлятник восточный (*Galéga orientalis*), обладающие высокой питательной ценностью и антиоксидантной активностью. Они широко применяются в животноводстве на территории Российской Федерации, в странах Европы, Ближнего Востока и западной Африки.

Ранее, с использованием лабораторного непатогенного штамма *Escherichia coli* BW25113, нами была показана высокая способность указанных трав подавлять образование биопленок. Также методом ВЭЖХ выявлено содержание фенольных соединений (галловая, пара-кумаровая, кофейная и танниновая кислоты, эпигалокатехин галлат, рутин, никотифлорин, изокверцетин, нарингенин, гиперозид).

Целью данного исследования явилось оценка биопленкообразующей способности штаммов *Escherichia coli* АРЕС (Avian Pathogenic *Escherichia coli*) №29, 43 и 45, выделенных из внутренних органов цыплят-бройлеров, в присутствии указанных экстрактов. Штаммы АРЕС широко известны как возбудители внекишечных инфекций на птицефермах (колибациллез, инфекции дыхательных путей, перикардит, перигепатит, септикопиемия и др.), которые приводят к болезненности и гибели птиц, что сопровождается значительными экономическими потерями. Тестирование проводили на 96-луночных полистироловых планшетах через 22 часа инкубации методом окрашивания генцианвиолетом. Параметры роста ( $OD_{600}$ ) и валового ( $OD_{540}$ ) и удельного ( $OD_{540} / OD_{600}$ ) биопленкообразования измеряли с помощью планшетного спектрофотометра xMark™ (Bio-Rad, США). Действующая доза экстрактов составляла 100 мкг сухого вещества/мл.

Через 22 ч инкубации без экстрактов плотность культуры убывала в ряду штаммов №45, №29, №43, BW25113. В присутствии экстрактов бактериостатических/стимулирующих рост эффектов в наших условиях не обнаружено. Штаммы АРЕС №29, 43 и 45 характеризовались пониженным биопленкообразованием ( $0.033 \pm 0.002$ ,  $0.025 \pm 0.002$ ,  $0.009 \pm 0.001$ , соответственно) по сравнению с непатогенным штаммом BW25113 ( $0.081 \pm 0.007$ ). Экстракт левзеи снижал показатель  $OD_{540}$  в 2 раза в штамме № 43 и в 2.5 раза в штамме BW25113. Экстракт козлятника подавлял валовое биопленкообразование почти в 4 раза у штамма BW25113. Выявлено стимулирующее влияние экстракта эспарцета на показатель  $OD_{540}$  у штамма №45. По сравнению с необработанными культурами показатель удельного биопленкообразования снижался в присутствии всех экстрактов у штамма BW25113, у штамма №43 – при действии левзеи и козлятника, у штамма № 29 – в присутствии левзеи. Обработка экстрактом эспарцета приводила к повышению удельного биопленкообразования у штамма №45 примерно в 2 раза. Полученные данные указывают на перспективность использования экстрактов левзеи и козлятника для подавления адгезии патогенной микрофлоры. В настоящее время проводится исследование совместного действия указанных экстрактов с антибиотиками на рост, выживаемость и биопленкообразование патогенных штаммов АРЕС.

Работа выполнена в соответствии с госзаданием АААА-А19-119112290009-1, а также при поддержке гранта РФФИ-Урал 19-44-590009.

---

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ БИОЭКОНОМИКИ

Саханов В.В.

ОА Государственный научный центр лесопромышленного комплекса, Москва,  
sakhanov@rambler.ru

Комплексное использование всей заготовленной лесной биомассы в многом зависит от развития лесной биоэкономики замкнутого цикла. Лесная биоэкономика в Российской Федерации имеет в перспективе серьёзный потенциал роста, но это потребует проведения соответствующей технической, технологической и инновационной политики. Государственное регулирование этой политики с введением нового Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД2) целлюлозно-бумажная и лесохимическая промышленности оказалась разнесённой по разным видам экономической деятельности, регулируемые разными департаментами Минпромторга России.

Каковы основные экономические результаты лесохимической промышленности? Основной ассортимент представлен традиционной лесохимической продукцией, выпускаемой длительное время без инновационного обновления. Наиболее массовыми видами представлены производными продуктами растительного происхождения или смолами, производство которых с 94,6 тыс. т в 2010 г. снизилось до 67,4 тыс. т в 2020 г. Экспорт лесохимической продукции за 2018 -2020 г. вырос в 1,1 раза, а импорт – в 1,7 раза. Трудности в развитии лесохимической промышленности связаны с большим уровнем износа основного технологического оборудования, ростом себестоимости производства, обусловивших снижение конкурентоспособности.

Повышение конкурентоспособности в первую очередь зависит от усиления инновационного развития техники и технологии лесохимического производства, от увеличения производства новой высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью. К сожалению роль отраслевой науки, в решении данной проблемы с практически ведена к нулю. Основные научно-исследовательские институты, занимающиеся лесохимической проблематикой: ОАО «ЦНИЛХИ» (г. Нижний Новгород), АО «ГНЦ ЛПК» (г. Москва) прекратили своё существование. Следует отметить, что АО «ГНЦ ЛПК» в последние годы вёл активные исследования в области биотехнологий, по получению биологически активных препаратов для медицинской и пищевой промышленности и сельского хозяйства, моторного топлива на основе биомассы из древесины. По нашему мнению, в сложившейся ситуации следует оказать существенную поддержку научным коллективам системы высшего профессионального образования, развивающих исследования усовершенствованию действующих и созданию новых технологий переработки растительных материалов.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ БУТАНОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ИЗ ЦВЕТКОВ *TANACETUM VULGARE* НА ОПУХОЛЕВЫЕ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА

Семущкина А.Ю., Китаева М.П., Неуструева Л.В., Кабанов Д.С.  
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных  
и ароматических растений, Москва, a.sem.1@mail.ru

Выявление способности природных фенольных соединений подавлять метаболическую активность опухолевых клеток является важным и необходимым исследованием для развития фармации, фармакологии и медицины. Основными продуцентами фенольных соединений являются растения, среди которых представители рода *Tanacetum* заслуживают особого внимания. Нами охарактеризован состав сухой бутанольной фракции (БФ), полученной посредством фракционирования этанольного экстракта цветков *Tanacetum vulgare* L. Основные компоненты БФ цветков *T. vulgare* это 3,4- и 3,5-дикофеилхинная (ДКК) и неохлорогеновая кислоты, и минорные компоненты – мирицетин-3-глюкозид, кверцетин-3-глюкозид, акацетин-7-рутинозид и акацетин-7-глюкозид (Кроль с соавт., 2021). Из литературных данных известно, что все эти соединения, за исключением ДКК, проявляют противоопухолевое действие (Zhou et al., 2019). В связи с этим, мы исследовали способность БФ цветков *T. vulgare* оказывать цитотоксическое действие на опухолевые клетки человека линий HeLa и K562 (биоколлекция ФГБНУ ВИЛАР, ИБР РАН). Позитивный контроль – доксорубин. Цитотоксическое действие БФ цветков *T. vulgare* исследовали с помощью желтой соли тетразолия (МТТ), которая восстанавливается оксидоредуктазами живых клеток в МТТ-формазан пурпурного цвета (диапазон абсорбции 450–650 нм). Клетки в количестве  $10^4$ /лунке инкубировали с БФ (1–5 мг/мл) или с доксорубицином в среде DMEM в течение 48 ч или 72 ч при 37°C и 5%-ом содержании CO<sub>2</sub>. Концентрация МТТ 5 мг/мл. Проводили замену питательной среды без сыворотки перед добавлением МТТ. Клетки инкубировали далее с МТТ в течение 3 ч при 37°C и 5%-ом содержании CO<sub>2</sub>. Жизнеспособность клеток рассчитывали согласно (Mosmann et al., 1989).

Нами показано, что оксидоредуктазы клеток HeLa и K562 восстанавливают МТТ в МТТ-формазан, который обнаруживает сходные по форме спектры в диапазоне 480–640 нм. В течение первых 48 ч доксорубин (200 мкг/мл) оказывал более выраженное цитотоксическое действие на клетки HeLa (73%;  $p=0,01$ ), чем на K562 (36%;  $p=0,01$ ), тогда как через 72 ч наблюдалось практически сходное цитотоксическое действие доксорубина, как на клетки HeLa (37%;  $p=0,01$ ), так и K562 (48%;  $p=0,01$ ). Через 48 ч при минимальной концентрации БФ цветков *T. vulgare* (1 мг/мл) наблюдалось подавление жизнеспособности клеток HeLa до 50% ( $p=0,01$ ) и через 72 ч до 45% ( $p=0,01$ ). Повышение концентрации от 2 до 5 мг/мл не усиливало супрессивного действия БФ цветков *T. vulgare* на клетки HeLa (48 ч и 72 ч). Мы не обнаружили какого-либо цитотоксического действия БФ цветков *T. vulgare* на K562 клетки через 48 ч инкубации. Существенное цитотоксическое действие на клетки K562 наблюдалось только через 72 ч инкубации и только при концентрации БФ цветков *T. vulgare* – 2 мг/мл (24%;  $p=0,01$ ) или 3 мг/мл (22%;  $p=0,02$ ). Полученные нами данные указывают на выраженную чувствительность опухолевых клеток HeLa к компонентам БФ цветков *T. vulgare*, в сравнении с менее выраженной и отсроченной чувствительностью опухолевых клеток K562. Дальнейшие исследования необходимы для прояснения механизмов, обуславливающих различия в цитотоксическом действии БФ цветков *T. vulgare* на адгезивные клетки HeLa и суспензионные клетки K562.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Молекулярные механизмы регуляции биосинтеза биологически активных вторичных метаболитов лекарственных растений» (FGUU-2022-0013).

## НОВАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ПРОДУКЦИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА АМАРАНТА: ИСТОЧНИК ПОЛИФЕНОЛОВ

Сидорова Ю.С., Перова И.Б.

ФГБУН ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва

Амарант, также как киноа и гречиха, является одной из наиболее широко используемых в питании псевдозлаковой культурой и к настоящему времени возделывается во многих странах. О высокой пищевой ценности амаранта свидетельствуют данные, согласно которым в съедобной части зерна этой культуры содержание углеводов в 1,5 раза, белков в 2 раза, жиров в 5 раз, выше, чем в пшенице, соответственно в полтора раза выше и удельная энергетическая ценность зерна амаранта.

Зерно амаранта содержит уникальный набор фитонутриентов - соединений, защищающих растения от агрессивных воздействий внешней среды, включая грибковые, бактериальные и вирусные инфекции. Фитонутриентами (минорными биологически активными компонентами) зерен псевдозлаковых являются сапонины, фенольные соединения (включая флавоноиды), фитостерины и некоторые другие соединения. Полифенольные соединения содержатся в зернах амаранта в виде свободных молекул, их гликозилированных форм и полимерных молекул (например, олигомерные проантоцианидины, конденсированные танины). Согласно литературным данным в наиболее культивируемых видах амаранта: *Amaranthus caudatus*, *A. cruentus* и *A. hypochondriacus* идентифицированы следующие основные группы фенольных соединений: фенольные кислоты (феруловая, *n*-кумаровая, *n*-гидроксibenзойная), флавоноиды (рутин, кверцетин), а также танины, как в индивидуальном виде, так и в составе экстрактов.

Для исследования были отобраны 9 коммерчески доступных образцов зерна амаранта происхождения Перу, Индия, Россия. Профиль флавоноидов определяли методом ОФ ВЭЖХ-ДМД-МС, профиль тритерпеновых сапонинов - методом ОФ ВЭЖХ-МС на системе жидкостной хроматографии Ultimate 3000 с диодно-матричным спектрофотометрическим детектором (ДМД) и тройным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором TSQ Endura. Неподвижная фаза - колонка Phenomenex Luna C18(2) 250\*4.6 mm с размером частиц 5 мкм, подвижная фаза А - 0,1% муравьиная кислота в воде, В - 0,1% муравьиная кислота в ацетонитриле, градиентный режим элюирования. Источник ионизации - прогреваемый электроспрей в положительном и отрицательном режимах сканирования. Образцы предварительно экстрагировали 60% водным метанолом на ультразвуковой бане при комнатной температуре. В качестве стандартов использовали коммерчески доступные флавоноиды. Выявлены основные гидрокоричные кислоты в образцах семян амаранта: кофейная, феруловая и *n*-кумаровая. Сумма производных гидроксикоричных кислот составила 39,2-116,5 мг/кг зерен. Основными флавоноидами в исследованных образцах были рутин-пентозид, рутин, никотифлорин (кемпферол-3-рутинозид), их суммарное содержание варьировало в диапазоне от 3,4 до 59 мг/кг зерна. Всего в образцах амаранта идентифицировано 16 сапонинов, преимущественно бидесмозидного типа, сапогенинами которых являются родственные производные олеаноловой кислоты. Наибольшим содержанием сапонинов отличались зерна из России.

Антиоксидантные, а также гиполипидемические и гипогликемические свойства экстрактов зерна амаранта во многом определяются наличием в них полифенольных соединений. Соответственно возникает повышенный интерес к получению высокообогащенных полифенольными соединениями экстрактов зерна амаранта путем глубокой переработки исходного сырья с дальнейшей перспективой их использования в составе специализированных пищевых продуктов многоцелевого назначения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-76-10049.*

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *SARGASSUM PALLIDUM* ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У КРЫС ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭТИЛОВЫМ СПИРТОМ

Спрыгин В.Г.

ФБГУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, Владивосток,  
vsprygin@poi.dvo.ru

Алкогольная болезнь печени (АБП) является одним из самых серьезных осложнений, вызывающих повышенную заболеваемость и смертность при злоупотреблении алкоголем. Первичными факторами, вовлеченными в формирование АБП, являются ацетальдегид, гипоксия, оксидативный стресс. Известно, что 90% этанола окисляется в печени с участием двух основных ферментов: алкогольдегидрогеназы и альдегиддегидрогеназы. Оба фермента используют НАД<sup>+</sup>, поэтому окисление этанола сопровождается накоплением восстановленной его формы (НАДН) и снижением содержания окисленной. Такое изменение соотношения коферментов способно блокировать до 75% окислительного потенциала печени. Целью настоящей работы явилось изучение влияния профилактического применения фракции полифенолов, выделенной из морской бурой водоросли *Sargassum pallidum* на показатели углеводного обмена и состояние окислительно-восстановительной системы (НАД<sup>+</sup>/НАДН) печени крыс в условиях алкогольной интоксикации (АИ).

Полифенольная фракция из *S. pallidum* (ПФС) содержала 450 мг общих полифенолов (ОПФ) на грамм. Эксперимент проводили на крысах-самцах Вистар с массой тела 130-150 г, содержащихся на стандартном рационе питания. В ходе эксперимента были выделены три группы животных (по 8 крыс в каждой): 1-я – интактные; 2-я – введение этанола (7,5 мл на 1 кг массы тела животного 2 раза в сутки); 3-я – введение ПФС (в дозе 100 мг ОПФ/кг массы тела) в течение 7 дней на фоне введения этанола; Через 7 дней животных выводили из эксперимента декапитацией под легким эфирным наркозом. В печени определяли содержание пирувата (ПВК), лактата (МК), глицерол-3-фосфата (Г-3-Ф), диоксиацетонфосфата (ДАФ), активность глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г-6-ФДГ), содержание окисленных форм коферментов НАД<sup>+</sup>, НАДФ<sup>+</sup> и глюкозы.

Алкогольная интоксикация сопровождалась падением уровня окисленной формы НАД<sup>+</sup> на 48% ( $p < 0,001$ ). Содержание лактата увеличилось на 39% ( $p < 0,001$ ), а ПВК снизилось на 28% ( $P < 0,001$ ), что привело к снижению отношения НАД<sup>+</sup>/НАДН (ЛДГ) в два раза. Содержание Г-3-Ф возросло на 32% ( $p < 0,05$ ) в результате смещения равновесия реакции в сторону окисления ДАФ, содержание которого снизилось на 24% ( $p < 0,05$ ), что сопровождалось снижением величины соотношения НАД<sup>+</sup>/НАДН (Г-3Ф-ДГ) на 40%. Уровень глюкозы снизился на 18%. Отмечали снижение на 24% ( $p < 0,05$ ) активности Г-6-ФДГ, ключевого фермента пентозофосфатного пути окисления глюкозы, что обусловлено уменьшением содержания соответствующего кофермента НАДФ<sup>+</sup> на 35% ( $p < 0,001$ ).

Профилактическое введение ПФС оказывало нормализующее действие на показатели углеводного обмена в печени. Уровень содержания кофермента НАД<sup>+</sup> в печени животных 3-й группы даже несколько превышал таковой у животных контрольной группы. Соотношение НАД<sup>+</sup>/НАДН в печени животных получавших ПФС соответствовало уровню контроля. Повышенное содержание окисленной формы НАД<sup>+</sup> обусловило сдвиг равновесия в сторону преимущественного образования окисленных продуктов дегидрогеназных реакций. Так, содержание ПВК, МК, ДАФ и Г-3-Ф в печени животных 3-й группы не отличались от контрольных показателей. Активность Г-6-ФДГ в группе получавшей ПФС превышала не только таковой во 2-й группе (этанол), но и была на 18% выше по сравнению с контрольными значениями. По видимому это определяется более высоким (на 33%,  $p < 0,001$ ) чем во 2-й группе содержанием окисленной формы НАДФ<sup>+</sup>.

Полученные результаты дают основание рекомендовать ПФ из бурой водоросли *S. pallidum*, как перспективное средство профилактики токсического действия этанола.

---

## DETERMINATION OF SOME ANTIOXIDANT PROPERTIES AND PHENOLIC COMPONENT AMOUNT OF VERBASCUM NAPIFOLIUM ACETONE EXTRACTS

Aygun Taghiyeva, Ramazan Mammadov, Beria Özçakır

Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Muğla Sıtkı Kocman University, Muğla, Turkey

According to recent studies, the use of herbs in the treatment of diseases has become quite widespread. This is due to the fact that plants are cheap, easy to find, and their side effects are less than drugs due to some of the substances they contain. Medicinal plants are used to inactivate molecules that damage many cells, such as free radicals, reactive oxygen species, and secondary metabolites. In our country, the variety of these plants is quite large, and the genus *Verbascum* is also included in this variety. *Verbascum* is a genus belonging to the family *scrophulariaceae* and there are 360 taxa in the world and 235 species in Turkey. Of these taxa, 198 are endemic. They can grow on sandy beaches, salt marshes and high grasslands of mountains without a specific area as a distribution area. Many species of the genus *Verbascum* are resistant to heat and cold, which indicates a high ecological sensitivity of the plant. Genus *Verbascum* are one-or-two year old herbaceous plants. Its leaves are usually hairy and, although they differ depending on the genus, they are usually found glabrous, secretory or glabrous. The color of its flowers can be yellow, rarely purple, pink, brown or yellowish or bluish-green (568921). Compounds consist of chemical bonds formed between two or more elements, and the paired states of electrons make them a more stable structure. In their unstable state, the electrons are unpaired, that is, unpaired, and in this case they become more reactive. Free radicals are composed of elements or compounds containing one or more unpaired electrons. This condition affects the cell membrane first and then the cell structure, because in order for free radicals to be paired, they must take electrons from the cell membrane and convert it into a stable structure, so the structure of the cell is disrupted. The cell, on the other hand, uses antioxidants to defend itself. In cases where antioxidants are insufficient, diabetes, cancer, neurodegenerative diseases may occur. In this study, the antioxidant activity of acetone extract obtained from leaves and flowers of *Verbascum napifolium* Boiss species (DPPH, ABTS) and the total amount of substance (Phenolic) and the total amount of tannin were determined. According to the DPPH and ABTS experiments, it was found that the antioxidant activity of leaf acetone extract was higher than that of flower acetone extract. For these experiments, the IC<sub>50</sub> values of leaf acetone extract were determined as  $0.54 \pm 0.01$  mg/ml and  $0.10 \pm 0.09$  mg/ml, respectively. The phenolic compounds of leaf acetone and flower acetone extracts were found to be  $19.72 \pm 0.78$  mg GAE/g and  $6.32 \pm 0.41$  mg GAE/g, respectively. The total tannin content was  $15.11 \pm 0.29$  mg CE/g in leaf acetone extract and  $14.11 \pm 0.35$  mg CE/g in flower acetone extract. As a result of the data obtained from this study, it was observed that it will contribute to studies on the use of the plant for pharmaceutical purposes.

## ТРАВА ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ЧАЙНЫХ НАПИТКОВ: СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА

Танашкина Т.В., Семенюта А.А., Осипенко Э.Ю.

ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, [tatiana.vl.tan@gmail.com](mailto:tatiana.vl.tan@gmail.com)

Гречиха посевная – ценная сельскохозяйственная культура, выращиваемая во многих регионах России с целью получения крупы, муки, а в последние годы и солода. Зерно гречихи содержит полифенольные соединения (ПФ), из которых основными являются флавоноиды рутин, кверцетин [1]. В листьях, соцветиях и стеблях уровень этих соединений существенно выше по сравнению с зерном. Кроме того, в них также обнаружены фенилпропаноиды, среди которых феруловая, хлорогеновая и др. кислоты [2]. Исходя из этого трава гречихи может рассматриваться в качестве сырья для производства продуктов питания специализированного и функционального назначения, в том числе чайных напитков. Чтобы максимально использовать потенциал гречихи необходимо знать какие части растения наиболее пригодны в качестве сырья с точки зрения продуктивности и уровня биологической активности. Ранее было установлено, что содержание ПФ в разных частях растения существенно отличается, также оно зависит от его фазы развития. Максимальное их количество обнаружено в листьях и соцветиях в период массового цветения [2, 3]. Однако информации о влиянии сроков посева на уровень этих компонентов в траве гречихи не найдено. Поэтому целью исследования было определить зависит ли содержание ПФ от сроков посева семян и установить возможность получения двух урожаев в течение одного вегетационного периода.

Семена гречихи сорта Изумруд высевали четырежды с интервалом в 13-14 дней, начиная с 16 июня 2021 г. Надземную массу гречихи скашивали в фазу массового цветения через 35-36 дней после посева, взвешивали, затем выделяли верхнюю часть растения (25-35 см), нарезали и сушили при температуре 60 °С в течение 5,5-6 ч до влажности 6,5-7,0 %. Экстракцию ПФ и определение их общего содержания проводили с использованием реактива Folin-Ciocalteu согласно ГОСТ Р ИСО 14502-1-2010 с нашими модификациями.

Максимальное содержание ПФ в пересчете на СВ было найдено в образце 1 (самый ранний посев) – 9,13±0,02 %. В образце 2 (ранний посев) и 3 (стандартный для Приморского края посев) их уровень был средним и существенно не отличался между собой – 7,36±0,01 и 7,48±0,01 % соответственно. Минимальное содержание было характерно для образца 4 (поздний посев) – 6,66±0,03 %. В отношении биомассы травы наблюдалась обратная зависимость: минимальная масса – для образца 1 (1 477 г/м<sup>2</sup>), максимальная – для образца 4 (2 424 г/ м<sup>2</sup>). Таким образом, для получения сырья с наиболее высоким содержанием ПФ целесообразно высевать гречиху в середине июня, а для наибольшего выхода биомассы – в последней декаде июля. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что в условиях Приморского края в течение сельскохозяйственного сезона возможно получение двух урожаев травы гречихи.

### Литература:

1. Kreft, M. Buckwheat phenolic metabolites in health and disease / M. Kreft // Nutrition Research Reviews. – 2016. – Vol. 29, № 1. – P. 30-39. <https://doi: 10.1017/S0954422415000190>
2. Identification of polyphenolic compounds and determination of antioxidant activity in extracts and infusions of buckwheat leaves / K. Dziadek, A. Kopeć, E. Piątkowska [et al.] // European Food Research and Technology. – 2018. – Vol. 244. – P. 333-343. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2959-2>
3. Гречишные травяные чайные напитки: сырье, способы получения и оценка биологической активности / Т. В. Танашкина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 564–573. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-564-573>



---

## ФАРМАКОГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ИЗОХИНОЛИНОВЫЕ АЛКАЛОИДЫ

**Трифонова П.В., Куркина А.В., Куркин В.А., Тухбатуллина Р.Г.**  
ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, p.v.trifonova@samsmu.ru

Культура клеток и тканей растений является эффективной технологией получения различных вторичных метаболитов, в том числе и для использования в фармацевтической промышленности. Isoхинолиновые алкалоиды растений семейства Маковые (*Papaveraceae*) являются перспективным источником лекарственных растительных препаратов.

В качестве исследуемых образцов были выбраны каллусные культуры мачка (*Glaucium flavum* Crantz) и чистотела (*Chelidonium majus* L.), предоставленные сотрудниками Казанского государственного медицинского университета.

Качественный анализ образцов проводился с использованием люминесцентной микроскопии на микроскопе марки «Альтами» ЛЮМ-2 (Россия).

В ходе люминесцентного анализа культуры клеток мачка было выявлено слабое свечение тканей при длине волны 420 нм (жёлтое свечение), при длине волны 360 нм (яркое жёлто-зелёное свечение), которые мы связываем с наличием алкалоидов изохинолиновой природы. Данный характер и тип свечения был отмечен на поперечных срезах различных органов мачка жёлтого. В некоторых образцах культуры клеток мачка свечения тканей при длине волны 420 нм и 360 нм отмечено не было, что, вероятно, свидетельствует о невысоком содержании алкалоидов в тканях.

В ходе люминесцентного анализа культуры клеток чистотела было выявлено слабое свечение тканей при длине волны 420 нм (жёлтое свечение), при длине волны 360 нм (синее свечение). Наблюдаемый характер и тип свечения также был отмечен на поперечных срезах различных органов чистотела большого.

Анализ исследуемых образцов также был проведен с помощью метода тонкослойной хроматографии. В качестве хроматографической системы была выбрана система *n*-бутанол-уксусная кислота-вода 4:1:2. При детектировании хроматограммы в УФ-свете при длинах волн 254 и 366 нм, а также после обработки хроматограмм реактивом Драгендорфа в образцах каллусных культурах мачка и чистотела были идентифицированы изохинолиновые алкалоиды, представленные также и в интактных растениях.

В целях качественной оценки образца культуры клеток чистотела нами была использована ранее разработанная методика оценки сырья и препаратов чистотела и мачка методом спектрофотометрии. УФ-спектр спиртового извлечения чистотела большого имеет 3 характерных максимума: 274, 340, 444 нм. Спектрофотометрический профиль извлечения из культуры клеток отличался от профиля извлечения из образца растения.

УФ-спектр 70% спиртового извлечения из травы мачка жёлтого характеризуется максимумами поглощения при 280 и 300 нм. УФ-спектр спиртовых извлечений из образцов культуры клеток мачка имели схожий спектрофотометрический профиль, однако их максимумы поглощения отличались от таковых максимумов извлечений из травы мачка жёлтого.

При рассмотрении УФ-спектров извлечений из культур клеток мачка жёлтого и чистотела большого можно сделать вывод о схожести их спектрофотометрических профилей.

Таким образом, можно сделать вывод о различиях в качественном составе культуры клеток и интактных растений. Вероятно, доминирующие алкалоиды синтезируются в культуре клеток на более поздних стадиях развития растений.

---

## ЭКСТРАКТ МОРСКОЙ ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРΟΣЛИ *ULVA LACTUCA L.*, СОДЕРЖАЩИЙ ПОЛИФЕНОЛЫ, КАК АНТИОКСИДАНТНОЕ СРЕДСТВО ПРИ ОСТРОМ СТРЕССЕ

Фоменко С.Е.

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, sfomenko@poi.dvo.ru

Морские водоросли являются источником важных биологически активных соединений: липиды, аминокислоты, фенольные соединения, полисахариды и др. Перспективную группу веществ морского происхождения составляют полифенолы, обладающие высокой антиоксидантной активностью, которые играют важную роль в жизнедеятельности морских макрофитов, что позволяет им быстро реагировать на внешний стресс и выполнять защитные функции. В то же время, многокомпонентный состав фенольной составляющей экстрактов из водорослей обуславливает широкий спектр их фармакологической активности, включающей регулирующее влияние на многочисленные нарушения гомеостаза при патологических процессах в организме животных и человека. Однако возможные эффекты экстрактов, выделенных из многочисленных видов водорослей, еще в полной мере не исследовались. Особый интерес представляют массовые виды морских водорослей, имеющих пищевое значение, в частности *Ulva lactuca L.* – ульва латук (салатная). Целью работы явилось оценка антиоксидантной активности экстракта, выделенного из таллома зеленой водоросли - *Ulva lactuca* Linnaeus, 1753, и его влияние на показатели антиоксидантной защиты печени и плазмы крови крыс при остром стрессе. Водоросли собирали в летние месяцы в прибрежных водах залива Петра Великого Японского моря, затем сушили при  $t < 50^{\circ}\text{C}$ , измельчали и экстрагировали 70%-ным этиловым спиртом методом реперколяции. Общее содержание полифенолов в образцах водорослевого экстракта составляло  $16,2 \pm 1,8$  мг-экв ГК/г сухого экстракта. Эксперимент проводили на белых беспородных крысах массой 180-200 г, содержащихся в стандартных условиях вивария. Острый стресс моделировали путем вертикальной фиксации животных за дорсальную шейную складку на 24 часа. В качестве препарата сравнения использовали аптечный экстракт элеутерококка *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. & Maxim.) Maxim. - известного адаптогена и стресс-протектора. Освобожденный от спирта экстракты *U. lactuca* и элеутерококка, вводили животным в виде водной взвеси в дозе 100 мг общих полифенолов на кг массы тела в желудок через зонд дважды: непосредственно перед вертикальной фиксацией и через 6 часов после первого введения. Животным контрольной группы и группы «стресс» вводили дистиллированную воду в объеме, равном объему вводимых препаратов. В данной модели проявились все атрибуты стресса: гипертрофия надпочечников, инволюция тимуса и селезенки, изъязвления слизистой желудка и кишечника. Также отмечались нарушения системы антиоксидантной защиты, которые проявлялись в снижении активности антиоксидантных ферментов в плазме крови, содержания восстановленного глутатиона в печени, а также в увеличении уровня малонового диальдегида. Под действием экстрактов из *U. lactuca* и элеутерококка у животных на фоне стресса прослеживалась тенденция к стабилизации исследуемых показателей антиоксидантной защиты. При этом данные показатели у животных, получавших экстракт из *U. lactuca*, превосходили аналогичные параметры в группе животных, получавших экстракт элеутерококка. Это обусловлено тем, что основными компонентами полифенольной фракции *U. lactuca* являются флавоноиды, различные фенольные кислоты и др., которые, вероятно, проявляют более высокую антиоксидантную активность в отличие от растительных полифенолов элеутерококка. Зеленая морская водоросль *U. lactuca* является перспективным видом сырья для создания препаратов, способных активизировать антиоксидантную защиту организма для предупреждения стресс-индуцированных расстройств.

## ОЦЕНКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТА ХМЕЛЯ (*HUMULUS LUPULUS L.*)

Халиуллина А.С., Шакирова Д.Х., Хайруллина А.Р., Алиуллина Л.А.  
ФГБОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, anela\_90@mail.ru

В настоящее время в условиях растущей мировой проблемы антибиотикорезистентности современные химико-фармацевтические исследования связаны с изысканием новых соединений, обладающих антибактериальной активностью, в том числе в отношении резистентных к антибиотикам штаммов микроорганизмов. Многообещающим направлением в решении этой проблемы является использование препаратов на основе биологически активных веществ (БАВ) растительного происхождения [1,2,3].

*Humulus lupulus L.* является достаточно популярным и широко применяемым в медицине лекарственным растением. Официальным лекарственным растительным сырьём хмеля обыкновенного признаются соплодия, которые используются в качестве антидепрессантного, седативного, противовоспалительного и антимикробного средства.

Среди основных классов БАВ, которые вносят существенный вклад в биологическую активность «шишек» хмеля, выделяют следующие: терпеноиды эфирного масла (0,3-1% от массы сырья); горькие кислоты – ацилфороглюциды, представленные  $\alpha$ - и  $\beta$ -кислотами (5-20% от массы сырья); халконы – пренилированные флавоноиды (до 1% от массы сырья) [1].

Исследование направлено на изучение антимикробной активности экстракта, полученного из соплодий хмеля обыкновенного в отношении патогенных бактерий полости рта: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus sanguinis*, *Streptococcus gordonii*, *Streptococcus sobrinus*, *Streptococcus salivarius*.

Растительный материал был заготовлен на территории УПЦ «Ботанический сад» КФУ в июне 2020 г. Оценку качества сырья проводили по ФС 2.5.0046.15. Государственной Фармакопеи XIV издания (содержание эфирного масла составило  $2,71 \pm 0,05\%$ ; содержание флавоноидов –  $0,41 \pm 0,01\%$ ). В качестве экстрагента использовали 70% этиловый спирт при гидромодуле экстракции 1:5. Экстракцию проводили при  $60^\circ\text{C}$  с помощью автоматизированной системы рефлюкс-экстракции (*SUB Aqua Pro*, *Biosan-Grant*, Латвия). Экстракты охлаждали до комнатной температуры, отделяли шрот, полученные извлечения хранили при температуре  $4^\circ\text{C}$  в защищённом от света месте.

Антимикробная активность была протестирована против пяти патогенных грамположительных бактерий: *S. aureus*, *S. sanguinis*, *S. gordonii*, *S. sobrinus*, *S. salivarius* методом серийных микроразведений в 96-луночных культуральных планшетах в соответствии с требованиями EUCAST (*European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing*). Микропланшеты термостатировали при  $37^\circ\text{C}$  в течение 24 часов. Минимальная ингибирующая концентрация (МИК) была определена как самая низкая концентрация экстракта, которая предотвращает видимый рост бактерий в лунках микропланшетов. Результаты показали, что тестируемый образец активен в отношении *S. aureus*, *S. sanguinis* и *S. gordonii* в разведениях 1:80, *S. sobrinus*, *S. salivarius* в разведениях 1:40.

### Литература:

1. Lin, M., Xiang, D., Chen, X., & Huo, H. Role of Characteristic Components of *Humulus lupulus* in Promoting Human Health // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2019. V. 67. I. 30. P. 8291–8302. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03780>
2. Lyu JI, Ryu J, Seo K-S, Kang K-Y, Park SH, Ha TH, Ahn J-W, Kang S-Y. Comparative Study on Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Hop (*Humulus lupulus L.*) Strobile Extracts. // *Plants*. 2021. V.11. P. 135. <https://doi.org/10.3390/plants11010135>
3. Kebede T, Gadisa E, Tufa Antimicrobial activities evaluation and phytochemical screening of some selected medicinal plants: A possible alternative in the treatment of multidrug-resistant microbes // *PLOS ONE*. 2021. V.16. I.3. P. 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249253>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ БОДЯКА ПОЛЕВОГО

Шамсутдинова С.Р., Пупыкина К.А., Старцева Л.В., Баламетова Р.Г.

ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России, Уфа,  
pupykinaka@gmail.com

В последнее время, значительный интерес представляет изучение лекарственных растений, применяемых в нетрадиционной медицине, так как многие из них являются ценными источниками биологически активных веществ (БАВ). Бодяк полевой *Cirsium arvense* (L.) сем. Астровых (*Asteraceae*) является одним из наиболее часто встречающихся сорняков на территории РФ. В народной медицине бодяк применяется как противовоспалительное, антиоксидантное, противомикробное средство, его используют в качестве средства от подагры и ревматизма, при нервных заболеваниях, эпилепсии. Однако, химический состав бодяка полевого изучен недостаточно, поэтому актуальным является его подробное изучение для обоснования применения его в научной медицине [2].

Целью исследования являлось изучение фенольных соединений корней и травы бодяка полевого из флоры Башкортостана. Объектами исследования служили образцы сырья бодяка полевого, заготовленного в Республике Башкортостан. Для качественного анализа использовались качественные реакции и хроматографический анализ, количественное определение флавоноидов проводили с использованием метода спектрофотометрии [1, 3].

Результаты. Качественное обнаружение фенольных соединений осуществляли с помощью качественных реакций, а также исследование флавоноидов, гидроксикоричных кислот проводилось методом тонкослойной хроматографии на пластинках «Sorbfil ПТСХ-П-А-УФ». Для анализа готовили извлечение из сырья бодяка полевого, используя в качестве экстрагента 70 % спирт этиловый. В качестве растворов сравнения использовали 0,05% растворы стандартных образцов. Проводился подбор систем растворителей, в которых наблюдалось наилучшее разделение смеси фенольных соединений. Для травы бодяка полевого оптимальной оказалась система бутанол - кислота уксусная - вода (4:1:5), а для корней - этилацетат - кислота муравьиная - вода (67:32:5). Хроматограмму высушивали, просматривали в видимом, УФ-свете и обрабатывали хромогенными реактивами. При этом на хроматограмме в исследуемом растворе травы бодяка обнаружено 7 зон адсорбции, соответствующие по значениям  $R_f$ : 0,43 - рутину; 0,48 - лютеолин-7-гликозиду; 0,51 – линарин; 0,64 – хлорогеновой кислоте; 0,87 – кофейной кислоте; 0,90 – лютеолину. При анализе корней бодяка обнаружено 4 зоны адсорбции с  $R_f$ : 0,47 - рутин; 0,50 – линарин; 0,67 - хлорогеновая кислота; 0,89 – кофейная кислота; 0,91 - лютеолин. Результаты количественного определения фенольных соединений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели содержания БАВ в сырье бодяка полевого

Группа БАВ	Трава бодяка полевого	Корни бодяка полевого
Флавоноиды в пересчете на апигенин, %	2,82 ± 0,06	0,76 ± 0,03

Выводы. Изучен качественный состав фенольных соединений в траве и корнях бодяка полевого и определено количественное содержание флавоноидов в пересчете на апигенин.

### Литература:

1. Государственная Фармакопея Российской Федерации, XIV издание, Том IV. Лекарственное растительное сырье. М.: «Медицина», 2018. 6074-6083, 6622-6633, 6599-6605 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
2. Определитель высших растений Башкирской АССР: сем. Brassicaceae - Asteraceae / АН СССР, УО БНЦ, Ин-т биологии; [Ю. Е. Алексеев и др.]; отв. ред. Е. В. Кучеров, А. А. Мулдашев. – М. Наука, 1989 – 374 с.
3. Пупыкина, К.А., Шамсутдинова, С.Р., Старцева, Л.В. Разработка метода стандартизации травы бодяка полевого по содержанию флавоноидов // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. 2021. №1 (31). – С. 35-40.

---

## РЕЛАКСАНТНОЕ ДЕЙСТВИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОЛИФЕНОЛА НА СОКРАТИТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ АОРТЫ КРЫСЫ

**Якубова Н.Х., Режепов К.Ж., Гафуров М.Б., Алимбаева Ш.Б.\*, Омонтурдиев С.З.,  
Гайилов У.Г., Арипов Т.Ф.**

Институт биоорганической химии имени А.С. Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан,  
siroj2012@mail.ru

\*Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан, r\_k\_zh@mail.ru

Заболевания сердечно-сосудистой системы, которые продолжают сохранять ведущие позиции в общей структуре заболеваемости и смертности в большинстве стран мира, являются важнейшей медико-социальной проблемой современности. Ведущим фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний является артериальная гипертензия, которая в последние годы имеет тенденцию широкого распространения [1-6]. В связи с этим изучению механизмов модуляции кальциевого гомеостаза ГМК и, особенно, механизмов фармакологической регуляции транспортных систем, участвующих в его поддержании, в настоящее время уделяется особое внимание.

Методы исследования. Исследования проводились на препаратах в виде колец (шириной 3-4 мм) изолированных из аорты крысы, сократительную активность регистрировали в изометрическом режиме с помощью датчика натяжения FT-03 (*Grass, США*). Препараты фиксировались в ячейке и перфузировались раствором Кребса при 37<sup>0</sup>С.

Результаты и их обсуждения. Предварительных экспериментах было обнаружено, что полифенола NX-1 широком диапазоне концентраций не влияет на базальный тонус препаратов аорты крысы. При этом релаксантное действие полифенола NX-1 начинало проявляться уже при концентрации 10 мкМ. Релаксантное действие полифенола NX-1 имело дозо-зависимый характер, и при увеличении концентрации полифенола в диапазоне 10-120 мкМ сила сокращения препарата аорты крысы, индуцированная 50 мМ КСI снижалась от 12,1±4,2 до 71,2±3.8%. Величина EC<sub>50</sub>%, концентрация при которой полифенол расслаблял препарат аорты на 50%, составляла 46,9 мкМ.

Выводы. Эти данные указывают, что КСI-индуцированное сокращение аорты крысы в основном обеспечивается активацией потенциал-зависимых Ca<sup>2+</sup>-каналов плазмолеммы ГМК и ионами Ca<sup>2+</sup> поступающим по ним, можно предположить, что наблюдаемое релаксантное действие полифенола возможно реализуется в результате блокирования им этих каналов.

### Литература:

1. Catterall W.A. Annual Review of Cell and Developmental Biology, No. 16, Pp. 521-555, 2000.
2. Gao B. Journal of Biological Chemistry, Vol. 275, Pp. 12237-12242, 2000.
3. Hughes A.D. Journal of Vascular Research, Vol. 32. Pp. 353-370, 1995.
4. Laporte R., Hui A., Laher I. Pharmacological Reviews, Vol. 56. Pp. 439-513, 2004.
5. Vandier C., Le Guennec J.Y., Bedfer G. Advances in Physiology Education, Vol. 26. Pp. 195-203, 2002.
6. Webb R.C. Advances in Physiology Education, Vol. 27. Pp. 201-206, 2003.



---

## **ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ -АНТИОКСИДАНТОВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ КОРОНАВИРУСОВ COVID-19**

**Яшин А.Я., Яшин Я.И.**

Группа компаний «Сайтегра», Москва, yashin@scientegra.com

Во время пандемии во многих странах обратили внимание, что на ход болезни коронавирусом влияет выбор пищи и питание. Опубликованы сотни статей на эту тему. Описаны пищевые системы и изменения пищевых предпочтений. Отдельно выделена роль Средиземноморской диеты. Далее во многих работах было показано, что основное ингибирующее влияние питания на коронавирус связано с содержанием антиоксидантов в продуктах питания. Серия работ посвящена роли натуральных продуктов, содержащих полифенолы-антиоксиданты, отдельно выделялась роль флавоноидов. Основные продукты, содержащие большие количества полифенолов и потребление которых тормозило развитие болезни: овощи, фрукты, ягоды, зеленый и черный чай, какао, морские водоросли, прополис и другие медопродукты. Исследована роль отдельных сильных полифенолов-антиоксидантов: кверцетина, ресвератрола, эпигаллокатехин галлата, куркумина, изофлавоноидов, хальконов, мелатонина, глутатиона, гесперидина, антоцианинов. Доказана большая роль витаминов, в частности, витаминов D, C, B12 и микроэлементов селена, цинка, меди, магния и др. Опубликованы работы, показывающие роль окислительного стресса, т.к. одним из показателей здоровья человека является окислительно-восстановительный баланс, антиоксидантный статус, редокс-баланс, в связи с тем, что при всех патологиях этот показатель уменьшается в сторону окисленных форм, в том числе и при вирусных заболеваниях. Редокс потенциал пропорционален иммунному статусу. Для поддержания редокс-баланса нужно регулярно потреблять пищевые продукты и напитки с сильными антиоксидантами. Кроме антиоксидантных действий природные полифенолы обладают еще противовирусным и антиканцерогенным действием. В целом полифенолы-антиоксиданты неотъемлемая часть здорового и полноценного питания. Антиоксиданты относятся к микронутриентам, они в большей степени, чем другие компоненты пищи защищают человека от опасных болезней и преждевременного старения. Есть предположение, что бессимптомные больные при COVID имеют высокий антиоксидантный статус, который можно легко измерить прибором «Близар».

Можно привести некоторые подтвержденные механизмы действия полифенолов против коронавирусов: ингибирование протеазы вируса, иммуномодулирующая активность, блокирование рецепторов ACE-11, против воспаления и снижения цитокинового шторма, уменьшение прилипания, адгезии и размножения вирусов, нейтрализация выступов, шипов белков и гликопротеинов коронавируса, эффективная терапия, роль микробиоты на ход болезни, увеличение сопротивления коронавирусу, терапевтический потенциал ресвератрола, кверцетина, эпигаллокатехин галлата и куркумина, подтверждение клиническими исследованиями. Таким образом, можно утверждать, что природные полифенолы-антиоксиданты воздействуют на коронавирус на всех стадиях болезни. На базе полифенолов можно создать универсальные лекарства от коронавирусов. Общее мнение вирусологов - человечество ждет новые опасные эпидемии с большим процентом смертности. Нужно заранее к ним готовиться широким фронтом. Нужно также активно использовать явление синергизма и использовать смеси полифенолов - антиоксидантов, которые значительно усиливают совместное противовирусное действие.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<b>Загоскина Н.В.</b> ФЕНОЛОМ РАСТЕНИЙ И ЕГО РЕГУЛЯЦИЯ	<b>7</b>
<b>Куркин В.А.</b> ФЕНОЛЬНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КАК КРИТЕРИЙ ПОДЛИННОСТИ И КАЧЕСТВА ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРЕПАРАТОВ	<b>8</b>
<b>Минибаева Ф.В.</b> ЗАГАДОЧНЫЕ МЕЛАНИНЫ: ОТ МИКРООРГАНИЗМОВ ДО ЭЛЕКТРОНИКИ	<b>9</b>
<b>РАЗДЕЛ 1. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: СТРУКТУРА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ</b>	<b>10</b>
<b>Белая Н.И., Белый А.В.</b> ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ РЕГРЕССИОННО-КЛАССИФИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА СКРИНИНГА АНТИРАДИКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ФЛАВОНОИДОВ И ГИДРОКСИЦЕТОФЕНОНОВ В СРЕДЕ С ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ PH	<b>11</b>
<b>Боголицын К.Г., Гусакова М.А., Хвиюзов С.С., Елисеева И.С., Самсонова Н.А.</b> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕДОКС-СОСТОЯНИЯ ФРАКЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ	<b>12</b>
<b>Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н., Рубцов М.В.</b> ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГИДРОФОБНЫХ ФЛАВОНОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ФЛАВОНОИДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	<b>13</b>
<b>Бочарникова Е.Н., Чайковская О.Н., Базыль О.К.</b> ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА	<b>14</b>
<b>Варзиева Е.А., Доценко В.В.</b> РЕАКЦИИ АМИНОМЕТИЛИРОВАНИЯ ЗАМЕЩЕННЫХ 2-АМИНО-3-ЦИАНО-4Н-ХРОМЕНОВ	<b>15</b>
<b>Вольева В.Б., Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В.</b> СТИМУЛИРОВАНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНОЛОВ ЦИКЛИЧЕСКИМИ АЦЕТАЛЯМИ	<b>16</b>
<b>Вусович О.В., Чайковская О.Н., Андреева К.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОЛИТИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ ПРИРОДНЫХ ФЕНОЛОВ	<b>17</b>
<b>Гапуров Ж.Ж., Корулькин Д.Ю.</b> АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ АНТОЦИАНОВЫХ ПИГМЕНТОВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА CRASSULLACEAE	<b>18</b>
<b>Дворникова И.А., Буравлёв Е.В., Шевченко О. Г., Чукичева И.Ю.</b> СИНТЕЗ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА АМИНОМЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 2,6-ДИИЗОБОРНИЛФЕНОЛА С ПИНАНОВЫМ ЗАМЕСТИТЕЛЕМ	<b>19</b>
<b>Денисова Т.Г., Денисов Е.Т.</b> ПРИРОДНЫЕ ФЕНОЛЫ: ЭНЕРГИЯ ДИССОЦИАЦИИ O–H-СВЯЗИ	<b>20</b>

<b>Дубоносов А.Д., Николаева О.Г., Карлутова О.Ю., Дубоносова И.В., Брень В.А.</b>	<b>21</b>
<b>ГИДРОКСИ(ДИГИДРОКСИ)КУМАРИН-АЗОМЕТИНИМИНОВЫЕ КОНЬЮГАТЫ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОБНАРУЖЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ИОНОВ</b>	
<b>Жигачева И.В., Крикунова Н.И., Генерозова И.П., Буцанец П.А.</b>	<b>22</b>
<b>КАЛИЙ 2-КАРБОКСИ-2-(N-АЦЕТИЛАМИНО) -3- (3',5'-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-4'- ГИДРОКСИФЕНИЛ)-ПРОПИОНАТ КАК АДАПТОГЕН К СТРЕССОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ</b>	
<b>Захаров М.С., Тертышная Ю.В., Абушахманова З.Р.</b>	<b>23</b>
<b>СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРФИРИНПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕЗО-АРИЛПОРФИРИНА И ПОЛИЛАКТИДА</b>	
<b>Зыкова З.В., Мамедова В.Э.</b>	<b>24</b>
<b>СОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ОКТАДЕЦИЛСИЛИКАГЕЛЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРОССГЕМИНУ</b>	
<b>Кабанова В.С., Курганова Е.А., Фролов А.С., Кошель Г.Н.</b>	<b>25</b>
<b>ГИДРОПЕРОКСИДНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛА И ЕГО АЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СТРОЕНИЯ</b>	
<b>Jamshid Kayumov, Sardor Narzullaev, Zulayho Smanova, Durbek Usmanov, Bakhtiyor Rasulev</b>	<b>26</b>
<b>A MACHINE LEARNING-BASED QUANTITATIVE STRUCTURE-ACTIVITY RELATIONSHIP STUDY FOR THE CARCINOGENIC ACTIVITY OF PHENETHYLAMINES</b>	
<b>Коляда М.Н., Осипова В.П., Пименов Ю.Т., Берберова Н.Т.</b>	<b>27</b>
<b>АКТИВНОСТЬ (3,5-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-4-ГИДРОКСИФЕНИЛТИОЛАТ)ТРИМЕТИЛОЛОВА В ОТНОШЕНИИ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА <i>IN VITRO</i></b>	
<b>Косторная Д.Р., Косолапов Н.В., Петрухина В.Н., Николаева В.В., Фенин А.А.</b>	<b>28</b>
<b>РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ В СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ И РАДИОПРОТЕКТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ А,В-НЕНАСЫЩЕННЫХ ФЕНОЛОВ</b>	
<b>Лысенко А.Г., Орлова К.И., Фенин А.А.</b>	<b>29</b>
<b>ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ФЛАВОНОИДОВ</b>	
<b>Мазалецкая Л.И., Шелудченко Н.И., Шишкина Л.Н.</b>	<b>30</b>
<b>РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ФЕНОЛОВ С ДВУМЯ ГИДРОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ В ПРИСУТСТВИИ ЛЕЦИТИНА</b>	
<b>Мартынова Ю.З., Хайруллина В.Р., Мустафин А.Г.</b>	<b>31</b>
<b>QSAR-МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В РЯДУ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛОВ</b>	
<b>Миль Е.М., Бинюков В.И., Албантова А.А., Володькин А.А., Матиенко Л.И., Голощанов А.Н.</b>	<b>32</b>
<b>ДЕЙСТВИЕ ФЕНОЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ НА АПОПТОЗ В НОРМАЛЬНЫХ И ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТКАХ</b>	
<b>Неврова О.В., Герасимов Н.Ю., Жигачева И.В., Генерозова И. П., Голощанов А.Н.</b>	<b>33</b>
<b>АНТИОКСИДАНТ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО РЯДА ИЗМЕНЯЛ СТРУКТУРУ МЕМБРАН МИТОХОНДРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЛИСТЬЕВ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА</b>	

<b>Осипова А.Д., Половинкина М.А., Осипова В.П., Пчелинцева Н.В., Береберова Н.Т.</b>	<b>34</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КУМАРИНА	
<b>Половинкина М.А., Осипова А.Д., Осипова В.П., Великородов А.В., Береберова Н.Т.</b>	<b>35</b>
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 2,5- БЕНЗОДИАЗОЦИН-1(2Н)-ОНА	
<b>Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B.</b> NEW WATER SOLVENT COMPLEXES OF GOSSIPOL PRODUCTS, THEIR PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND STRUCTURES	<b>36</b>
<b>Серых А.Е., Грицык О.Б., Храпова М.В., Меньщикова Е.Б.</b> ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОНОФЕНОЛЬНОГО АНТИОКСИДАНТА ТС-13	<b>37</b>
<b>Смирнова А.Н., Швыдкий В.О., Шишкина Л.Н.</b> ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ ЭЛЮЭНТА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ЛИПИДОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ	<b>38</b>
<b>Сухов Б.Г.</b> НЕКОВАЛЕНТНЫЕ НАНОГЛИКОКОНЪЮГАТЫ ФЛАВОНОИДОВ И НАНОБИОКОМПЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ: СТРОЕНИЕ, ВСТРЕЧНЫЙ СИНТЕЗ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ И БИМЕДИЦИНСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ	<b>39</b>
<b>Федорова И.В., Чукичева И.Ю., Шевченко О.Г., Кучин А.В.</b> АЛКИЛИРОВАНИЕ СЕЗАМОЛА КАМФЕНОМ	<b>40</b>
<b>Khurramova F.N., Matchanov A.D.</b> SYSTEMS OF SUPRAMOLECULARS WITH SOME GETHERRYCHALICAL BIOLOGICAL FALSE METHODS	<b>41</b>
<b>Кожин П.М., Семенцов А.С., Храпов С.Е., Ромах Л.П., Храпова М.В., Меньщикова Е.Б.</b> ВЛИЯНИЕ ОРИГИНАЛЬНОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО МОНОФЕНОЛА ТС-13 НА АКТИВНОСТЬ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ KEAP1/NRF2/ARE И ПОВРЕЖДЕНИЕ МИОКАРДА ПРИ ИШЕМИИ/РЕПЕРФУЗИИ	<b>42</b>
<b>Фенин А.А.</b> ВЛИЯНИЕ УЧЕТА СОЛЬВАТАЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КВАНТОВО- ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ АНТИРАДИКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	<b>43</b>
<b>Чигорина Т.М.</b> БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПАРА-ФЕНИЛЕН-БИС-ДЕКАГИДРОАКРИДИНДИОНА-1,8	<b>44</b>
<b>Широкова Л.Н., Александрова В.А.</b> СТАБИЛИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В КАРБОКСИМЕТИЛХИТИНЕ В ПРИСУТСТВИИ ФЕНОЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ	<b>45</b>
<b>Шишкина Л.Н., Дубовик А.С., Козлов М.В., Мазалецкая Л.И., Плащина И.Г., Смирнова А.Н., Швыдкий В.О.</b> ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЯДА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ СОСТАВА ИХ ЛИПИДОВ	<b>46</b>
<b>Ягольник Е.А.</b> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ С ФОСФОЛИПИДНЫМИ МЕМБРАНАМИ	<b>47</b>

<b>РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b>	<b>48</b>
Адамов Г.В., Аксёнов А.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ГИДРОЛИЗУЕМЫХ ТАНИНОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ <i>CORNUS SERICEA</i> L.	49
Aubakirova A.S., Zhusupova G.Ye. ANALYSIS OF THE COMPONENT COMPOSITION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN MILK (KOUMISS) BY THE GC-MS SPME	50
Бабич О.О., Ларина В.В., Воронова С.С., Кроль О.В. ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОНСКОГО КАШТАНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	51
Белова О.А., Куркин В.А. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРНЕЙ СОЛОДКИ	52
Васькова А.И., Куркин В.А. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ТРАВЕ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО	53
Гапуров Ж.Ж., Корулькин Д.Ю. ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ АНТОЦИАНОВ ИЗ ТУИ ЗАПАДНОЙ	54
Дейнека В.И., Макаревич С. Л., Блинова И.П., Дейнека Л.А. ВИНОГРАДНЫЙ СОК И ВИНОГРАДНЫЕ ВИНА: ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТОЦИАНОВ	55
Кайгородов Р.В. ТЕСТИРОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛИПОСОМНОЙ МОДЕЛИ	56
Калинкин Д.А., Саласина Я.Ю., Дейнека В.И. ЭКСТРАКЦИЯ АНТОЦИАНОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ЭВТЕКТИЧЕСКИМИ СМЕСЯМИ	57
Мелконян К.И., Русинова Т.В., Козмай Я.А., Цыгурина К.А., Письменская Н.Д. ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОЙ ОЧИСТКЕ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ОТХОДОВ ВИНОПРОИЗВОДСТВА	58
Рязанова Т.К., Куркин В.А. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФЛАВОНОИДОВ В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	59
Сабутова А.Б., Нехорошев С.В. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ САЛИЦИНА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ГИДРОЛИЗОМ	60
Соболева А.В., Кисель Э.В., Орлова А.А., Силинская С.А., Черевацкая М.А., Фролова Н.В., Билова Т.Е., Фролов А.А., АНАЛИЗ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ	61
Старовойтова М.О., Караваева Е.Б. ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ <i>HIPPURAE RHAMNOIDES</i> L. И <i>RUBUS</i> SUBGEN. <i>RUBUS</i>	62



<b>Фатеенкова О.В., Савватеев А.М., Белобородов В.Л., Гравель И.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ</b>	<b>63</b>
<b>Хуршкайнен Т.В., Скрипова Н.Н., Никонова Н.Н., Кучин А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭМУЛЬСИОННОГО ЭКСТРАКТА ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ЕЛИ</b>	<b>64</b>
<b>Цыгурина К.А., Пасечная Е.Л., Письменская Н.Д., Мелконян К.И., Козмай Я.А., Русинова Т.В. ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ВИНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА</b>	<b>65</b>
<b>Чуб С.К. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММЫ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЕРЕГОРОДКАХ ПЛОДОВ ОРЕХА ГРЕЦКОГО. ЭТАП ПЕРВЫЙ: ВЫБОР ЭКСТРАГЕНТА</b>	<b>66</b>
<b>РАЗДЕЛ 3. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ: СОСТАВ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ</b>	<b>67</b>
<b>Абдуллаев Ш.В., Сиддиков Г.У., Абдуллаев М.М. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ <i>SCUTELLARIA PHYLLOSTACHYA</i> JUZ. И <i>SCUTELLARIA CORDIFRONS</i> JUZ.</b>	<b>68</b>
<b>Аксёнов А.А., Кроль Т.А., Балеев Д.Н., Осипов В.И. СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ГРУПП ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ 200 ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ</b>	<b>69</b>
<b>Аксенова М.А., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В. ЭЛИСИТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГИПЕРТЕРМИИ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ <i>CAMELLIA SINENSIS</i> L.</b>	<b>70</b>
<b>Алания М.Д., Сутиашвили М.Г., Сагарейшвили Т.Г., Шалашвили К.Г., Кавтарадзе Н.Ш. ФЛАВОНОИДЫ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ФЛОРЫ ГРУЗИИ</b>	<b>71</b>
<b>Артикова Г.Н., Эсанов Р.С., Матчанов А.Д. ПОЛИФЕНОЛЫ <i>ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA</i> L.</b>	<b>72</b>
<b>Байкова Ю.П. ГЕНЫ ШИКИМАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ У <i>CORNUS SERICEA</i>, <i>CORNUS SANGUINEA</i> И <i>CORNUS ALBA</i></b>	<b>73</b>
<b>Балюк Н.В., Ламан Н.А., Калацкая Ж.Н. ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ИНФИЦИРОВАННЫХ PVY ЛИСТЬЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИММУНОСТИМУЛЯТОРАМИ</b>	<b>74</b>
<b>Белоус О.Г., Платонова Н.Б. ФЕНОЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС <i>CAMELLIA SINENSIS</i> И ЕГО УЧАСТИЕ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ НА СТРЕСС</b>	<b>75</b>
<b>Бертова А.Д., Емельянов В.В. РОЛЬ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕФИЦИТУ КИСЛОРОДА И ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ОКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ</b>	<b>76</b>

<b>Бобкова В.В., Мотылева С.М., Коновалов С.Н., Мертвищева М.Е., Чеботарь В.К.</b>	<b>77</b>
СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ ( <i>FRAGARIA</i> × <i>ANANASSA</i> DUCH.) ПРИ ОБРАБОТКАХ ШТАММАМИ АССОЦИАТИВНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ	
<b>Бойко Е.В., Головацкая И.Ф., Кадырбаев М.К.</b>	<b>78</b>
ВЛИЯНИЕ МЕЛАТОНИНА НА СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В РАСТЕНИЯХ ОГУРЦА В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ	
<b>Буцанец П.А., Шугаева Н.А., Шугаев А.Г.</b>	<b>79</b>
ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ИОНОВ КАЛЬЦИЯ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ МЕМБРАНЫ МИТОХОНДРИЙ РАСТЕНИЙ	
<b>Варушкина С.М., Дейнека В.И., Саласина Я.Ю., Скрыпников Н.С.</b>	<b>80</b>
АНТОЦИАНЫ НОВОГО СОРТА АБРИКОСА ЧЁРНЫЙ ПРИНЦ	
<b>Видягина Е.О., Ковалицкая Ю.А., Кочетов А.П., Сурин А.К., Шестибратов К.А.</b>	<b>81</b>
МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ ОСИНЫ ПУТЕМ СУПЕРЭКСПРЕССИИ ГРИБНОГО ГЕНА ЛАККАЗЫ И ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЛОНОВ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
<b>Вялков В.В., Луцкий Е.О., Сундырева М.А.</b>	<b>82</b>
ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛИСИТОРОВ И АНТИСТРЕССАНТОВ НА СИНТЕЗ СТИЛЬБЕНОВ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ ВИНОГРАДА	
<b>Галиев И.В., Алмуграби Е., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.</b>	<b>83</b>
ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНЫХ СОРТОВ КАПУСТЫ КЕЙЛ ( <i>BRASSICA OLERACEA</i> VAR. <i>ACEPHALA</i> )	
<b>Gasimova Aytaj, Alper Mehlika, Ath Birsen</b>	<b>84</b>
DETERMINATION OF PHENOLIC COMPONENT AMOUNT AND ANTIOXIDANT POTENTIAL OF <i>ONOPORDUM BRACTEATUM</i> LEAF EXTRACTS	
<b>Герасимов Н.Ю., Неврова О.В., Жигачева И.В., Генерозова И.П., Голощапов А.Н.</b>	<b>85</b>
ЗАЩИТНЫЙ ЭФФЕКТ РЕСВЕРАТРОЛА ОТ ТЕПЛОВОГО СТРЕСС-ФАКТОРА	
<b>Глаголева А.Ю., Вихорев А.В., Шмаков Н.А., Морозов С.В., Черняк Е.И., Хлесткина Е.К., Шоева О.Ю.</b>	<b>86</b>
ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИГМЕНТОВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В КОЛОСЕ ЯЧМЕНЯ	
<b>Головин А.В., Скрыпник Л.Н.</b>	<b>87</b>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ <i>TANACETUM VULGARE</i> L.	
<b>Гончарук Е.А., Загоскина Н.В.</b>	<b>88</b>
ЭЛИСИТАЦИЯ КЛЕТОК ЛЬНА В УСЛОВИЯХ <i>IN VIVO</i> И <i>IN VITRO</i>	
<b>Дитченко Т.И., Бокий К.Ю.</b>	<b>89</b>
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭЛИСИТОРНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТИЛЖАСМОНАТА И САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНИЛПРОПАНОИДОВ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ ЭХИНАЦЕИ БЛЕДНОЙ	

Дремук И.А., Савина С.М., Емельянова А.В., Прищепчик Ю.В., Аверина Н.Г. СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ ЭКЗОГЕННОЙ 5-АМИНОЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТОЙ В КОЛЕОПТИЛЯХ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	90
Елькина А.В., Чукина Н.В., Малева М.Г., Филимонова Е.И., Борисова Г.Г. СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ И ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ ОРХИДЕИ <i>EPIPACTIS</i> <i>ATRORUBENS</i> ИЗ НАРУШЕННЫХ МЕСТООБИТАНИЙ	91
Ермошин А.А., Галишев Б.А., Киселёва И.С. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КАЛЛУСА И КОРНЕВИЩА СОЛОДКИ И ИХ АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ	92
Ерофеева Н.О., Орлова А.А., Силинская С.А., Билова Т.Е., Куркиев К.У., Хлесткина Е.К., Фролов А.А., МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ПРОФАЙЛИНГ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ: ВКЛАД ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА В ХИМИЧЕСКИЙ ФЕНОТИП	93
Ершова А.Н. РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ $\beta$ -ГЛЮКОЗИДАЗЫ РАСТЕНИЙ <i>PISUM</i> <i>SATIVUM</i> (L.) УСЛОВИЯМИ СРЕДЫ И МЕТАБОЛИТАМИ	94
Захарова Н.К., Бреева А.А., Ручкина А.Г. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ ЛИСТЬЕВ НЕКОТОРЫХ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИКОВ И УРОВНЕМ ИХ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ	95
Захарова Е.В., Минкина Ю.В., Ковалева Л.В. ФЛАВОНОЛЫ В СИГНАЛИНГЕ ПЫЛЬЦЕВЫХ ТРУБОК	96
Зибарева Л.Н., Казанцева Д.И., Коннова С.И. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ ВИДОВ <i>SERRATULA</i> , ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	97
Зиновьева С.В., Удалова Ж.В., Хасанов Ф.К. ДЕЙСТВИЕ НАНОКРЕМНИЯ НА СК- ОПОСРЕДОВАННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ В ОТВЕТ НА ИНВАЗИЮ ГАЛЛОВОЙ НЕМАТОДОЙ	98
Зубова М.Ю., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В., Малюкова Л.С. РЕГУЛЯТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАЛЬЦИЯ НА РАСТЕНИЯ ЧАЯ: СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ L-ФЕНИЛАЛАНИНАМИАК-ЛИАЗЫ	99
Ivanova R. A., Elisovetcaia D.S. SEASONAL CHANGE IN POLYPHENOLS CONTENT AND THEIR ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE LEAVES OF EUROPEAN BEECH ( <i>FAGUS SYLVATICA</i> )	100
Игнатенко А.А., Холопцева Е.С., Батова Ю.В., Казнина Н.М. ОБРАБОТКА СЕМЯН ЯЧМЕНЯ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ ПОВЫШАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕДОСТАТКУ ЦИНКА В СУБСТРАТЕ	101
Исламова Р. Т., Лемешева В. С., Биркемайер К., Степченкова Е. И., Тараховская Е.Р., СТРУКТУРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛОРОТАННИНОВ ФУКУСОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ (PHAEORHYZEAE)	102

<b>Исупова М.В., Елец А.А., Гребенев И.Р., Лучинин Г.А., Товстик Е.В.</b>	<b>103</b>
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОДНО-СПИРТОВЫХ ИЗВЛЕЧЕНИЯХ ИЗ ПЛОДОВ И ЛИСТЬЕВ	
<b>Закусило Д.Н., Калугина А.В., Сокорнова С.В., Митина Г.В., Шапошников А.И., Васильев А.В., Юзихин О.С.,</b>	<b>104</b>
ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИГНАНОВ РЯДОВ $\beta$ -О-4 АРИЛОВЫХ ЭФИРОВ И БИАРИЛОВ ПРОТИВ ПАТОГЕНОВ И ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	
<b>Кабачевская Е.М., Смирнов А.А., Суховеева С.В.</b>	<b>105</b>
ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ФЕНИЛПРОПАНОИДНЫМ МЕТАБОЛИЗМОМ, В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	
<b>Кадырбаев М.К., Головацкая И.Ф., Бойко Е.В.</b>	<b>106</b>
ПРОТЕКТОРНАЯ РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ УРОВНЯ АНТОЦИАНОВ У КАРТОФЕЛЯ ПРИ ХОЛОДОВОМ СТРЕССЕ IN VITRO	
<b>Казахмедов Р.Э.</b>	<b>107</b>
РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ОДРЕВЕСНЕНИИ ГРЕБНЯ ПРИ ИНДУЦИРОВАННОЙ БЕССЕМЯННОСТИ СЕМЕННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА	
<b>Калугина О.В., Афанасьева Л.В.</b>	<b>108</b>
СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ( <i>PINUS SYLVESTRIS</i> ) И ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ ( <i>LARIX SIBIRICA</i> ) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	
<b>Карамова Н.С., Хабибрахманова В.Р., Хассан Г.О.О.</b>	<b>109</b>
ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ГЕКСАНОВОЙ ФРАКЦИИ ЭТАНОЛЬНОГО ЭКСТРАКТА <i>THYMUS CAPITATUS</i> L.	
<b>Карпова Е.А., Фершалова Т.Д., Набиева А.Ю., Петрук А.А.</b>	<b>110</b>
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В АДАПТАЦИИ <i>BEGONIA GRANDIS</i>	
<b>Катанская В.М., Костина О.Н., Муравник Л.Е., Загоскина Н.В.</b>	<b>111</b>
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЕКРЕТОРНЫХ СТРУКТУРАХ ЛИСТЬЕВ РОДОДЕНДРОНОВ	
<b>Caus M., Dascaluic A., Borozan P.</b>	<b>112</b>
RESPONSES OF SEED GERMINATION AND PLANTLETS GROWTH OF MAIZE HYBRIDS TO SEED PRETREATMENT WITH REGALG AND HEAT STRESS	
<b>Кем К.Р., Ламан Н.А.</b>	<b>113</b>
ВЛИЯНИЕ ЭПИБРАССИНОЛИДА НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СТРЕССА, ОБУСЛОВЛЕННОГО ГЛИФОСАТОМ	
<b>Кем К.Р., Ламан Н.А., Копылова Н.А.</b>	<b>114</b>
ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ШИКИМОВОЙ КСИЛОТЫ В ТКАНЯХ ПРОРОСТКОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛИФОСАТА И ЭПИБРАССИНОЛИДА	
<b>Киселёва И.С., Ермошин А.А., Галишев Б.А.</b>	<b>115</b>
СОСТАВ ФЕНОЛОВ, АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И ФИТОПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТОВ ЧАГИ И ГАНОДЕРМЫ	

- 
- Klykov A.G., Borovaya S.A., Murugova G.A., Timoshinova O.A., Chaikina E.L., Chingizova E.A.** RESEARCH OF FLAVONOID CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE EXTRACT OF *FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH 116
- Коваль Е.В., Огородникова С.Ю.** ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ АНТОЦИАНОВ В РАСТЕНИЯХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И МЕТИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ 117
- Красикова А.А., Хвиюзов С.С., Гусакова М.А., Боголицын К.Г.** РЕДОКС-СВОЙСТВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ВЕЩЕСТВА 118
- Кроль Т.А., Аксёнов А.А., Балеев Д.Н., Осипов В.И.** СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ ГИДРОЛИЗУЕМЫХ ТАННИНОВ В ЛИСТЬЯХ *CORNUS SERICEA*, *CORNUS SANGUINEA* И *CORNUS ALBA* 119
- Крылова Е.А., Михайлова А.С.** РЕГУЛЯЦИЯ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ В ОКРАШЕННЫХ СЕМЕНАХ *VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP. 120
- Кудоярова Г.Р., Архипова Т.Н., Ахтямова З.А., Галин И.Р., Мартыненко Е.В.** ВЛИЯНИЕ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА ЛИГНИФИКАЦИЮ КОРНЕЙ ПШЕНИЦЫ НА ФОНЕ ЗАСОЛЕНИЯ 121
- Курина А.Б., Соловьева А.Е., Артемьева А.М.** ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАПУСТЫ В СВЯЗИ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ЛИСТОГРЫЗУЩИМ ВРЕДИТЕЛЯМ 122
- Кумар А., Ширяев Г.И., Малева М.Г., Борисова Г.Г., Трипти, Давыдова Д.К.** БАКТЕРИАЛЬНОЕ БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БИОЧАРА СНИЖАЕТ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС И ПОВЫШАЕТ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ У *BRASSICA OLERACEA* ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕДИ 123
- Кухат К.В., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н.** ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В *AMOMUM LONGILIGULARE* T.L.WU И *AMOMUM TSAO-KO* CREVOST & LEMARIÉ, СОБРАННЫХ ВО ВЬЕТНАМЕ 124
- Лапшин П.В., Николаева Т.Н., Нечаева Т.Л., Кононенко Н.В. Куренина Л.В., Баранова Е.Н.,** ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ТРАНСГЕННЫХ ПО ГЕНУ Fe-SOD1 РАСТЕНИЯХ ТАБАКА: ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР 125
- Ларина М.В., Рыбин Д.А., Исмаилова А.А., Ветрова Я.А., Березина Е.В., Брилкина А.А.** ВЛИЯНИЕ ГОРМОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СУСПЕНЗИОННЫМИ КЛЕТКАМИ ГОЛУБИКИ ЩИТКОВОЙ 127
- Ларцева Л.О., Лоскутникова В.А., Пунгин А.В.** СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ РЕДКИХ ВИДОВ ГАЛОФИТОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: *SPERGULARIA MARINA* (L.) GRISEB. И *GLAUX MARITIMA* L. 128



Лебедев В.Г., Перова И.Б., Лебедева Т.Н., Шестибратов К.А. СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ РАЗНООКРАШЕННЫХ СОРТОВ МАЛИНЫ И ЕЖЕВИКИ	129
Макеева И.Ю., Пузина Т.И., Петрухина Н.А. ВЛИЯНИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ НА ТРАНСПОРТ ВОДЫ ЧЕРЕЗ АКВАПОРИНЫ У ПРОРОСТКОВ <i>AVENA SATIVA</i> В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ	130
Макарова Л.Е., Дударева Л.В. ВЛИЯНИЯ ИНОКУЛЯЦИИ <i>RHIZOBIUM</i> НА СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ КИСЛОТ В КОРНЯХ ЭТИОЛИРОВАННЫХ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА	131
Малева М.Г., Беренцева С.В., Чукина Н.В., Борисова Г.Г. СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У <i>SANGUISORBA OFFICINALIS</i> В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАРАБАШКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА	132
Мамаджонова М.Ю., Дехқонов Р.С., Жамилова М.М., Абдуллаев Ш.В. ФЛАВОНОИДЫ <i>NEPETA OLGAE REGEL</i> (L.) И <i>NEPETA BADACHSCHANICA</i> (L.), ПРОИЗРАСТАЮЩИЕ В УЗБЕКИСТАНЕ	133
Масленникова Д.Р., Ласточкина О.В., Шакирова Ф.М. РОЛЬ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОКСИДА АЗОТА НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ	134
Матющенко Н.В. СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛОДАХ <i>SORBUS AMURENSIS</i> KOENNE	135
Mikhailova A.S., Strygina K.V., Khlestkina E.K. THE REVEALING OF REGULATORY GENES ARE RESPONSIBLE FOR BROWN PIGMENTATION IN COLORED COTTON FIBER	136
Мишко А.Е., Луцкий Е.О., Вялков В.В., Сундырева М.А. ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ СТИЛЬБЕНОВ В ЛИСТЬЯХ ВИНОГРАДА ПРИ ПРАЙМИНГЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ	137
Мотылева С.М., Гинс М.С., Тетянников Н.В., Кабашникова Л.Ф., Мертвищева М.Е., Панищева Д.В., Доманская И. ВЛИЯНИЕ СТРЕССА ЗАСУХИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СИНТЕЗА ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ЛИСТЬЯХ ДВУХ ВИДОВ АМАРАНТА	138
Недведь Е.Л., Калацкая Ж.Н., Гилевская К.С., Рыбинская Е.И., Красковский А.Н., Корытько Л.А., Мельникова Е.В., Ламан Н.А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ПЕКТИН–СЕРЕБРО НА ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ В ИНФИЦИРОВАННЫХ РАСТЕНИЯХ ЯЧМЕНЯ	139
Нечаева Т.Л., Стахеева Т.С., Зубова М.Ю., Васильева О.Г., Загоскина Н.В. РАСТЕНИЯ ГОЛУБИКИ – ПРОДУЦЕНТЫ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	140
Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Софронова И.Н., Бородин М.Н., Коржова М.А., Ершова М.А., Корженевский М.А., Чирва О.В., Афошин Н.В., Серкова А.А., Иванова Д.С., Семенова Л.И., Мошников С.А., Ромашкин И.В., Харитонов В.А. АСПЕКТЫ ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЯДРОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ У <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.	141

<b>Mehmet Özgür Atay, Ramazan Mammadov, Olcay Ceylan</b> DETERMINATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY AND SECONDARY METABOLITE AMOUNT OF <i>CROCUS CANCELLATUS</i> SUBSP. <i>LYCIUS</i> UNDERGROUND METHANOLIC EXTRACT	<b>142</b>
<b>Овчинников И.А., Николайчук В.В., Недведь Е.Л., Калацкая Ж.Н.</b> НАКОПЛЕНИЕ ПРОЛИНА И АКТИВНОСТЬ ПРОЛИНДЕГИДРОГЕНАЗЫ В ПРОРОСТКАХ ОГУРЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН КОНЬЮГАТАМИ ХИТОЗАНА С ОКСИКОРИЧНЫМИ КИСЛОТАМИ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА	<b>143</b>
<b>Орлова А.А., Кисель Э.В., Мешалкина Д.А., Цветкова Е.В., Фролов А.А., Повыдыш М.Н.</b> ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРАВИЛАТА РЕЧНОГО ( <i>GEUM RIVALE</i> L.)	<b>144</b>
<b>Осипов В.И., Хазиева Ф.М.</b> СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЯЗЫЧКОВЫХ И ТРУБЧАТЫХ ЦВЕТКАХ У ДВУХ СОРТОВ КАЛЕНДУЛЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ, <i>CALENDULA OFFICINALIS</i> L.	<b>145</b>
<b>Палий А.Е., Палий И.Н.</b> ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМ. OLEACEAE В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД НА ЮБК	<b>146</b>
<b>Панищева Д.В., Мотылева С.М., Козак Н. В.</b> СРАВНИТЕЛЬНОЕ БИОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЛОДОВ <i>ACTINIDIA KOLOMIKTA</i> (RUPR. ET MAXIM.) MAXIM И <i>ACTINIDIA POLYGAMA</i> (SIEBOLD ET ZUCC.) MAXIM	<b>147</b>
<b>Пупыкина К.А., Красюк Е.В., Шайдуллина Г.Г.</b> СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE	<b>148</b>
<b>Раимова К.В., Абдулладжанова Н.Г., Матчанов А.Д.</b> ПОЛИФЕНОЛЫ <i>STARAEGUS PONTICA</i> К.КОСН	<b>149</b>
<b>Рассабина А.Е., Хабибрахманова В.Р., Гурьянов О.П., Минибаева Ф.В.</b> УФ-ИНДУЦИРОВАННЫЙ МЕЛАНИН И ЕГО ФЕНОЛЬНЫЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКИ В ЛИШАЙНИКЕ <i>LOBARIA PULMONARIA</i>	<b>150</b>
<b>Рудиковская Е.Г., Дударева Л.В., Ставицкая З.О., Ванина Л.С., Рудиковский А.В.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЛАВОНОИДНОГО СОСТАВА МЕЛКОПЛОДНЫХ ДИКИХ ЯБЛОНЬ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	<b>151</b>
<b>Рукавцова Е.Б., Алексеева В.В., Тарлачков С.В., Ермошин А.А., Захарченко Н.С.</b> ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА, СИНТЕЗИРУЮЩИХ РЕЗВЕРАТРОЛ	<b>152</b>
<b>Рыбинская Е.И., Герасимович К.М., Пронина Д.А., Красковский А.Н.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ ИОННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ	<b>153</b>
<b>Скрышников Н.С., Добродомова Д.Е., Саласина Я.Ю.</b> АНТОЦИАНЫ КОСТЯНИКИ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ РАСТЕНИЙ	<b>154</b>

<b>Смирнов А.А., Кабачевская Е.М.</b> ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ И ГИДРОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ НА ФОНЕ ЗАРАЖЕНИЯ ФИТОФТОРОЙ	<b>155</b>
<b>Соболева А.В., Ларина В.В., Черевацкая М.А., Повыдыш М.Н., Сухих С.А., Фролов А.А.,</b> ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ, БОГАТЫХ ФЕНОЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ	<b>156</b>
<b>Степанова Д.В.</b> АНТОЦИАНЫ И БЕТАЛАИНЫ: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ	<b>157</b>
<b>Сухих С.А., Ларина В.В., Бахтиярова А.Х., Скрыпник Л.Н., Попов А.Д., Фролов А.А.</b> СКРИНИНГ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ БАЛТИЙСКОГО РЕГИОНА	<b>158</b>
<b>Терлецкая Н.В., Корбозова Н.К., Гражданников А.Е.</b> БИОСИНТЕЗ САЛИДРОЗИДА В РАСТЕНИЯХ <i>RHODIOLA SEMENOVII</i> В ДИНАМИКЕ ВЕГЕТАЦИИ IN SITU В ПРЕДГОРЬЯХ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ	<b>159</b>
<b>Тугбаева А.С., Ермошин А.А., Киселева И.С.</b> ЗАСОЛЕНИЕ СРЕДЫ ВЛИЯЕТ НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ФЕНИЛПРОПАНОИДНОГО ПУТИ И ЛИГНИФИКАЦИЮ ОСЕВЫХ ОРГАНОВ <i>ZINNIA ELEGANS</i>	<b>160</b>
<b>Murat Turan, Mücahit Seçme</b> LARVICIDAL EFFECT OF BORIC ACID AND USNIC ACID COMBINATION AGAINST HOUSEFLY ( <i>MUSCA DOMESTICA</i> L.) LARVAE	<b>161</b>
<b>Упадышев М.Т., Мотылева С.М., Тумаева Т.А., Мертвищева М.Е., Петрова А.Д.,</b> Упадышева Г.Ю. СОДЕРЖАНИЕ ОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ В ЛИСТЬЯХ ЧЕРЕШНИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР В ПРОЦЕССЕ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ОТ ВИРУСОВ ПУТЕМ СУХОВОЗДУШНОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ	<b>162</b>
<b>Урбагарова Б.М., Тараскин В.В.</b> ХРОМОНЫ <i>SAPOSHNIKOVIA DIVARICATA</i> (TURZH.) SCHISCHKIN	<b>163</b>
<b>Фалёва А.В., Третьяков С.И., Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А.</b> ФЕРУЛОВАЯ КИСЛОТА В СОСТАВЕ СУБЕРИНА КОРЫ БЕРЕЗЫ	<b>164</b>
<b>Филюшин М.А., Щенникова А.В., Кочиева Е.З.</b> ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АНТОЦИАНОВ В ПЛОДАХ ТРЁХ ВИДОВ <i>CAPSICUM</i> В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ КОРРЕЛИРУЕТ С УРОВНЯМИ ТРАНСКРИПЦИИ СТРУКТУРНЫХ И РЕГУЛЯТОРНЫХ ГЕНОВ ФЛАВОНОИДНОГО ПУТИ БИОСИНТЕЗА	<b>165</b>
<b>Храмова Е.П., Андышева Е.В.</b> ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ <i>DASIPHORA FRUTICOSA</i>	<b>166</b>
<b>Цивилева О.М., Шатерников А.Н., Каневский М.В., Амелин В.Г.</b> ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВЫСШИХ ГРИБОВ В БИНАРНЫХ КУЛЬТУРАХ С БАКТЕРИЯМИ, СТИМУЛИРУЮЩИМИ РОСТ РАСТЕНИЙ	<b>167</b>
<b>Цыпурская Е.В., Загоскина Н.В.</b> НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ L-ФЕНИЛАЛАНИНАММИАКЛИАЗЫ В ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЯХ КАРТОФЕЛЯ, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕН $\Delta 12$ -АЦИЛ-ЛИПИДНОЙ ДЕСАТУРАЗЫ	<b>168</b>

<b>Шелепова О.В., Коновалова Л.Н., Кондратьева В.В., Воронкова Т.В., Олехнович Л.С., Баранова Е.Н. РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРЕВЬЕВ КАШТАНА КОНСКОГО <i>AESCLUS HIPPOCASTANUM</i> К КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛИ <i>CAMERARIA OHRIDELLA</i></b>	<b>169</b>
<b>Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г., Рубаева А.А. УЧАСТИЕ ФЛАВОНОИДОВ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К КРУГЛОСУТОЧНОМУ ОСВЕЩЕНИЮ</b>	<b>170</b>
<b>Шibaева Т.Г., Шерудило Е.Г., Рубаева А.А., Титов А.Ф. ВЛИЯНИЕ КРУГЛОСУТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В МИКРОЗЕЛЕНИ</b>	<b>171</b>
<b>Шоева О.Ю., Тоцкий И.В., Муханова М.В., Зедгенизова В.Д., Глаголева А.Ю., Гордеева Е.И., Кукоева Т.В., Юдина Р.С., Захрабекова Ш., Стюарт Д., Ханссон М., Хлесткина Е.К., РЕГУЛЯЦИЯ СИНТЕЗА ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ (<i>HORDEUM VULGARE L.</i>)</b>	<b>172</b>
<b>Яруллина Л.Г., Бурханова Г.Ф., Цветков В.О., Черепанова Е.А., Заикина Е.А., Сорокань А.В., Калацкая Ж.Н. УЧАСТИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В РЕГУЛЯЦИИ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ ПРОЛИН-СИНТАЗЫ И ДЕГИДРИНА В РАСТЕНИЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ БАКТЕРИЯМИ <i>BACILLUS SUBTILIS</i> И ИНФИЦИРОВАНИИ <i>PHYTOPHTHORA INFESTANS</i> В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ</b>	<b>173</b>
<b>РАЗДЕЛ 4. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ</b>	<b>174</b>
<b>Babenko A.N., Krepkova L.V., Borovkova M.V. MEDICAL AND BIOLOGICAL ASPECTS OF COMMON CHICORY (<i>CICHORIUM INTYBUS L.</i>) APPLICATION AS A SOURCE OF PHENOLIC COMPOUNDS</b>	<b>175</b>
<b>Barbakadze V., Merlani M., Gogilashvili L., Amiranashvili L. CAFFEIC ACID-DERIVED BIOPOLYETHER POLY[3-(3,4-DIHYDROXYPHENYL)GLYCERIC ACID], THE PARADIGM OF A MULTIFUNCTIONAL BIOPOLYMER WITH ANTICANCER EFFICACY</b>	<b>176</b>
<b>Белова И.В. ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЫРЬЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ</b>	<b>177</b>
<b>Бояршинов В.Д., Зорина Е.В. АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НАСТОЯ МАНЖЕТКИ МЯГКОЙ</b>	<b>178</b>
<b>Варданян Л.Р., Айрапетян С.А. СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ГОРИССКОМ РЕГИОНЕ АРМЕНИИ</b>	<b>179</b>
<b>Вахонина Е.А. ФЛАВОНОИДНЫЕ ВЕЩЕСТВА ПРОПОЛИСА</b>	<b>180</b>

<b>Волкова Н.А., Куркин В.А., Правдивцева О.Е. ФЛАВОНОИДЫ ПОБЕГОВ БОЯРЫШНИКА МЯГКОВАТОГО</b>	<b>181</b>
<b>Гуляева А.Н, Бахарев В.В. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СВЕКЛЕ И ПРОДУКТАХ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ</b>	<b>182</b>
<b>Гущина П.И., Кислицына Е.А., Фокина А.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В МЕЛИССЕ ЛЕКАРСТВЕННОЙ</b>	<b>183</b>
<b>Дикусар Е.А., Акишина Е.А., Поткин В.И. ПРИРОДНЫЕ АЛЬДЕГИДОФЕНОЛЫ В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ФАРМАКОФОРНЫХ БИМОЛЕКУЛ</b>	<b>184</b>
<b>Tolibjon Egamberdiyev, Solih Maulyanov, Durbek Usmanov, Rasulev Bakhtiyor, THE ANTICANCER ACTIVITY AGAINST HBL-100 CELL LINES AND QUANTITATIVE STRUCTURE-ACTIVITY RELATIONSHIP STUDY ON A WITHANOLIDES DERIVATIVES</b>	<b>185</b>
<b>Иванова Н.Н., Чирикова Н.К. РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ</b>	<b>186</b>
<b>Исламова Ж.И., Ботиров Э.Х., Ахмедова Г.Х. ПРЕБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛАВОНОИДОВ <i>THERMOPSIS ALTERNIFLORA</i> В ОПЫТАХ <i>IN VITRO</i></b>	<b>187</b>
<b>Казанцева В.В., Гончарук Е.А., Фесенко А.Н., Кадырова Ф.З., Загоскина Н.В. МИКРОГРИНЫ ГРЕЧИХИ - УНИКАЛЬНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ</b>	<b>188</b>
<b>Китаева М.П. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ <i>RODOPHYLLUM RELTATUM</i>, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ НА ОПУХОЛЕВЫЕ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА</b>	<b>189</b>
<b>Копытько Я.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ТРАВЫ МЕЛКОЛЕПЕСТНИКА КАНАДСКОГО <i>CONISA CANADENSIS (ERIGERON CANADENSIS)</i></b>	<b>190</b>
<b>Королева Е.Ф., Пупыкина К.А., Фархутдинов Р.Г. ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЯРУТКИ ПОЛЕВОЙ</b>	<b>191</b>
<b>Костикова В.А. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СУХИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАСТЕНИЙ РОДА <i>SPIRAEA L.</i>, ОБЛАДАЮЩИХ ПРОТИВОВИРУСНОЙ И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ</b>	<b>192</b>
<b>Крылова И.В., Доморощенко М.Л., Демьяненко Т.Ф., Шагинова Л.О. ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОДУКТАХ СУХОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНОГО ШРОТА</b>	<b>193</b>
<b>Кушнерова Н.Ф. ЭКСТРАКТ ИЗ МОРСКОЙ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ <i>ANFELTIA TOBUCHIENSIS</i>, СОДЕРЖАЩИЙ ПОЛИФЕНОЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС, КАК АНТИОКСИДАНТ ПРИ ВЫСОКОЖИРОВОЙ ДИЕТЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ</b>	<b>194</b>
<b>Лапшин П.В., Загоскина Н.В. ПОЛИФЕНОЛЫ РАСТЕНИЙ РОДА <i>ALOE</i> КАК ОДНИ ИЗ ВАЖНЕЙШИХ КОМПОНЕНТОВ «СУККУЛЕНТНОЙ БИМЕДИЦИНЫ»</b>	<b>195</b>



<b>Лапынина Е.П.</b> ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА - ИСТОЧНИК ФЛАВОНОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	<b>196</b>
<b>Lemyaseva S.V., Krepkova L.V., Kuzina O.S.</b> PHENOLIC COMPOUNDS OF RED LEAVES OF CULTIVATED GRAPES ( <i>VITIS VINIFERA</i> L.) AND THEIR APPLICATION IN MEDICINE	<b>197</b>
<b>Маринеску М.Ф.</b> ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПЛОДАХ СЛИВЫ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ	<b>198</b>
<b>Матросова Н.В., Абрамова И.М., Романова А.Г., Павленко С.В., Крыщенко Ф.И.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СПИРТНЫХ НАПИТКАХ	<b>199</b>
<b>Митрофанов Д.В., Будникова Н.В.</b> ДИНАМИКА МАССОВОЙ ДОЛИ ФЛАВОНОИДНЫХ И ДРУГИХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОМПОЗИЦИЯХ ТРУТНЕВОГО РАСПЛОДА С ЭКСТРАКТОМ ПРОПОЛИСА	<b>200</b>
<b>Момот Т.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСТРАКТА ИЗ ПЛОДОВ РЯБИНЫ, СОДЕРЖАЩЕГО ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, В ПРОФИЛАКТИКЕ СТРЕССОВЫХ НАРУШЕНИЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА	<b>201</b>
<b>Морозов Ю.А.</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВА, ТЕХНОЛОГИИ И НОРМ КАЧЕСТВА СИРОПА НА ОСНОВЕ ЛИГНАНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ – СОКА СВЕЖИХ ПЛОДОВ ЛИМОННИКА КИТАЙСКОГО	<b>202</b>
<b>Мубинов А.Р., Авдеева Е.В., Куркин В.А.</b> ЧЕРНУШКА ПОСЕВНАЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СЫРЬЕВОЙ ИСТОЧНИК ФЛАВОНОИДОВ	<b>203</b>
<b>Облучинская Е.Д.</b> ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ ЭКСТРАКТЫ ИЗ ФУКУСА ПУЗЫРЧАТОГО НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ	<b>204</b>
<b>Осипов В.И., Мизина П.Г.</b> УЭЖХ-МС/ВР АНАЛИЗ СОСТАВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРЕПАРАТА «ЭВКАЛИМИН», ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАСТЕНИЙ <i>EUCALYPTUS VIMINALIS</i> L.	<b>205</b>
<b>Осканов Б.С., Корулькин Д.Ю.</b> ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ <i>RUMEX TIANSHANICUS</i> LOSINSK	<b>206</b>
<b>Осканов Б.С., Құрайыш Т.А., Корулькин Д.Ю.</b> КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ АНТРАХИНОНОВЫХ МЕТАБОЛИТОВ КАЗАХСТАНСКИХ ВИДОВ <i>RUMEX</i> L.	<b>207</b>
<b>Повыдыш М.Н., Орлова А.А., Уэйли А.К., Понкратова А.О., Лукашов Р.И., Шпакова В.С., Богоутдинова А.М., Гамбарян С.П.</b> ВЫДЕЛЕНИЕ, УСТАНОВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ОЦЕНКА АНТИАГРЕГАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФЛАВОНОИДНОЙ ПРИРОДЫ	<b>208</b>
<b>Проценко М.А., Кукушкина Т.А., Филиппова Е.И., Лобанова И.Е., Храмова Е.П., Мазуркова Н.А.</b> ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ <i>PERSICARIA LAPATHIFOLIA</i> , ПРОЯВЛЯЮЩИЕ ПРОТИВОВИРУСНЫЕ СВОЙСТВА	<b>209</b>
<b>Савельева А.Е., Куркина А.В.</b> СРАВНИТЕЛЬНОЕ ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ БАРХАТЦЕВ ОТКЛОНЕННЫХ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ	<b>210</b>

---

<b>Савченко О.М., Цыбулько Н.С. СОДЕРЖАНИЕ ФЕНИЛПРОПАНОИДОВ В СЫРЬЕ РОДИОЛЫ РОЗОВОЙ</b>	<b>211</b>
<b>Сайбель О.Л., Радимич А.И., Даргаева Т.Д., Маврина П.О. ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ ЦИКОРИЯ И ТОПИНАМБУРА – ИСТОЧНИК ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b>	<b>212</b>
<b>Саласина Я.Ю., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТОЦИАНОВ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ ГУБНЫХ ПОМАД</b>	<b>213</b>
<b>Самойлова З.Ю., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н. ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ КОРМОВЫХ ТРАВ НА БИОПЛЕНКООБРАЗОВАНИЕ ПАТОГЕННЫХ ШТАММОВ КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ</b>	<b>214</b>
<b>Саханов В.В. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ БИОЭКОНОМИКИ</b>	<b>215</b>
<b>Семушкина А.Ю., Китаева М.П., Неуструева Л.В., Кабанов Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ БУТАНОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ИЗ ЦВЕТКОВ <i>TANACETUM VULGARE</i> НА ОПУХОЛЕВЫЕ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА</b>	<b>216</b>
<b>Сидорова Ю.С., Перова И.Б. НОВАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ПРОДУКЦИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА АМАРАНТА: ИСТОЧНИК ПОЛИФЕНОЛОВ</b>	<b>217</b>
<b>Спрыгин В.Г. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ <i>SARGASSUM PALLIDUM</i> ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У КРЫС ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭТИЛОВЫМ СПИРТОМ</b>	<b>218</b>
<b>Aygun Taghiyeva, Ramazan Mammadov, Beria Özçakır DETERMINATION OF SOME ANTIOXIDANT PROPERTIES AND PHENOLIC COMPONENT AMOUNT OF <i>VERBASCUM NAPIFOLIUM</i> ACETONE EXTRACTS</b>	<b>219</b>
<b>Танашкина Т.В., Семенята А.А., Осипенко Э.Ю. ТРАВА ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ЧАЙНЫХ НАПИТКОВ: СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА</b>	<b>220</b>
<b>Трифорова П.В., Куркина А.В., Куркин В.А., Тухбатуллина Р.Г. ФАРМАКОГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ИЗОХИНОЛИНОВЫЕ АЛКАЛОИДЫ</b>	<b>221</b>
<b>Фоменко С.Е. ЭКСТРАКТ МОРСКОЙ ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРОСЛИ <i>ULVA LACTUCA</i> L., СОДЕРЖАЩИЙ ПОЛИФЕНОЛЫ, КАК АНТИОКСИДАНТНОЕ СРЕДСТВО ПРИ ОСТРОМ СТРЕССЕ</b>	<b>222</b>
<b>Халиуллина А.С., Шакирова Д.Х., Хайруллина А.Р., Алиуллина Л.А. ОЦЕНКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТА ХМЕЛЯ (<i>HUMULUS LUPULUS</i> L.)</b>	<b>223</b>
<b>Шамсутдинова С.Р., Пупыкина К.А., Старцева Л.В., Баламетова Р.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ БОДЯКА ПОЛЕВОГО</b>	<b>224</b>

---

<b>Якубова Н.Х., Режепов К.Ж., Гафуров М.Б., Алимбаева Ш.Б., Омонтурдиев С.З., Гайилов У.Г., Арипов Т.Ф. РЕЛАКСАНТНОЕ ДЕЙСТВИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОЛИФЕНОЛА НА СОКРАТИТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ АОРТЫ КРЫСЫ</b>	<b>225</b>
<b>Яшин А.Я., Яшин Я.И. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ-АНТИОКСИДАНТОВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ КОРОНАВИРУСОВ COVID-19</b>	<b>226</b>

## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

<b>А</b>			
Абдулладжанова Н.Г.	149	Берберова Н.Т.	27, 34, 35
Абдуллаев М.М.	68	Березина Е.В.	127
Абдуллаев Ш.В.	68, 133	Беренцева С.В.	132
Абрамова И.М.	199	Бертова А.Д.	76
Абушахманова З.Р.	23	Билова Т.Е.	61, 93
Авдеева Е.В.	203	Бинюков В.И.	32
Аверина Н.Г.	90	Биркемайер К.	102
Адамов Г.В.	49	Блинова И.П.	55
Айрапетян С.А.	179	Бобкова В.В.	77
Акишина Е.А.	184	Боголицын К.Г.	12, 118
Аксёнов А.А.	49, 69, 119	Богоутдинова А.М.	208
Аксенова М.А.	70	Бойко Е.В.	78, 106
Алания М.Д.	71	Бокий К.Ю.	89
Албантова А.А.	32	Болотов В.М.	13
Александрова В.А.	45	Борисова Г.Г.	91, 123, 132
Алексеева В.В.	152	Бородина М.Н.	141
Алимбаева Ш.Б.	225	Ботиров Э.Х.	187
Алиуллина Л.А.	223	Бочарникова Е.Н.	14
Алмуграби Е.	83	Бояршинов В.Д.	178
Амелин В.Г.	167	Бреева А.А.	95
Андреева К.В.	17	Брень В.А.	21
Андышева Е.В.	166	Брилкина А.А.	127
Арипов Т.Ф.	225	Будникова Н.В.	200
Артемьева А.М.	122	Буравлёв Е.В.	19
Артикова Г.Н.	72	<b>В</b>	
Архипова Т.Н.	121	Ванина Л.С.	151
Афанасьева Л.В.	108	Варданян Л.Р.	179
Афошин Н.В.	141	Варзиева Е.А.	15
Ахмедова Г.Х.	187	Варушкина С.М.	80
Ахтямова З.А.	121	Васильев А.В.	104
<b>Б</b>		Васильева О.Г.	140
Бабич О.О.	51	Васькова А.И.	53
Базыль О.К.	14	Вахонина Е.А.	180
Байкова Ю.П.	73	Великородов А.В.	35
Баламетова Р.Г.	224	Ветрова Я.А.	127
Балеев Д.Н.	69, 119	Видягина Е.О.	81
Балюк Н.В.	74	Вихорев А.В.	86
Баранова Е.Н.	125, 169	Волкова Н.А.	181
Батова Ю.В.	101	Володькин А.А.	32
Бахарев В.В.	182	Вольева В.Б.	16
Бахтиярова А.Х.	158	Воронкова Т.В.	169
Белая Н.И.	11	Воронова С.С.	51
Белобородов В.Л.	63	Вусович О.В.	17
Белова И.В.	177	Вялков В.В.	82, 137
Белова О.А.	52	<b>Г</b>	
Белоус О.Г.	75	Гайибов У.Г.	225
Белый А.В.	11	Галибина Н.А.	141
		Галиев И.В.	83

Галин И.Р.	121	Емельянова А.В.	90
Галишев Б.А.	92, 115	Ермошин А.А.	92, 115, 152, 160
Гамбарян С.П.	208	Ерофеева Н.О.	93
Гапуров Ж.Ж.	18, 54	Ершова А.Н.	94
Гафуров М.Б.	225	Ершова М.А.	141
Генерозова И. П.	33, 22, 85	<b>Ж</b>	
Герасимов Н.Ю.	33, 85	Жамилова М.М.	133
Герасимович К.М.	153	Жигачева И.В.	22, 33, 85
Гилевская К.С.	139	<b>З</b>	
Гинс М.С.	138	Загоскина Н.В.	7, 70, 88, 99, 111, 140, 168, 188, 195
Глаголева А.Ю.	86, 172	Заикина Е.А.	173
Головацкая И.Ф.	78, 106	Закусило Д.Н.	104
Головин А.В.	87	Захаров М.С.	23
Голощанов А.Н.	32, 33, 85	Захарова Е.В.	96
Гончарук Е.А.	88, 188	Захарова Н.К.	95
Гордеева Е.И.	172	Захарченко Н.С.	152
Гравель И.В.	63	Захрабекова Ш.	172
Гражданников А.Е.	159	Зедгенизова В.Д.	172
Гребенев И.Р.	103	Зибарева Л.Н.	97
Грицык О.Б.	37	Зиновьева С.В.	98
Гуляева А.Н.	182	Зорина Е.В.	178
Гурьянов О.П.	150	Зубова М.Ю.	99, 140
Гусакова М.А.	12, 118	Зыкова З.В.	24
Гущина П.И.	183	<b>И</b>	
<b>Д</b>		Иванова Д.С.	141
Давыдова Д.К.	123	Иванова Н.Н.	186
Даргаева Т.Д.	212	Игнатенко А.А.	101
Дворникова И.А.	19	Исламова Ж.И.	187
Дейнека В.И.	55, 57, 80, 213	Исламова Р. Т.	102
Дейнека Л.А.	55, 213	Исмаилова А.А.	127
Демьяненко Т.Ф.	193	Исупова М.В.	103
Денисов Е.Т.	20	<b>К</b>	
Денисова Т.Г.	20	Кабанов Д.С.	216
Дехконов Р.С.	133	Кабанова В.С.	25
Дикусар Е.А.	184	Кабачевская Е.М.	105, 155
Дитченко Т.И.	89	Кабашникова Л.Ф.	138
Добродомова Д.Е.	154	Кавтарадзе Н.Ш.	71
Доманская И.	138	Кадырбаев М.К.	78, 106
Доморощенко М.Л.	193	Кадырова Ф.З.	188
Доценко В.В.	15	Казанцева В.В.	188
Дремук И.А.	90	Казанцева Д.И.	97
Дубовик А.С.	46	Казахмедов Р.Э.	107
Дубоносов А.Д.	21	Казнина Н.М.	101
Дубоносова И.В.	21	Кайгородов Р.В.	56
Дударева Л.В.	131, 151	Калацкая Ж.Н.	74, 139, 143, 173
<b>Е</b>		Калашникова Е.А.	124
Елец А.А.	103	Калинкин Д.А.	57
Елисева И.С.	12	Калугина А.В.	104
Елькина А.В.	91	Калугина О.В.	108
Емельянов В.В.	76		



Каневский М.В.	167	Крыщенко Ф.И.	199
Караваева Е.Б.	62	Кудоярова Г.Р.	121
Карамова Н.С.	109	Кукоева Т.В.	172
Карлутова О.Ю.	21	Кукушкина Т.А.	209
Карпова Е.А.	110	Кумар А.	123
Катанская В.М.	111	Курганова Е.А.	25
Кем К.Р.	113, 114	Куренина Л.В.	125
Киракосян Р.Н.	124	Курина А.Б.	122
Киселева И.С.	160, 92, 115	Куркиев К.У.	93
Кисель Э.В.	61, 144	Куркин В.А.	8, 52, 53, 59, 181, 203, 221
Кислицына Е.А.	183	Куркина А.В.	210, 221
Китаева М.П.	189, 216	Кутакова Н.А.	164
Ковалева Л.В.	96	Кухат К.В.	124
Ковалицкая Ю.А.	81	Кучин А.В.	40, 64
Коваль Е.В.	117	Кушнерова Н.Ф.	194
Кожин П.М.	42	Құрайыш Т.А.	207
Козак Н. В.	147	<b>Л</b>	
Козлов М.В.	46	Ламан Н.А.	74, 113, 114, 139
Козмай Я.А.	58, 65	Лапшин П.В.	125, 195
Коляда М.Н.	27	Лапынина Е.П.	196
Комарова Е.В.	13	Ларина В.В.	51, 156, 158
Кондратьева В.В.	169	Ларина М.В.	127
Коннова С.И.	97	Ларцева Л.О.	128
Коновалов С.Н.	77	Ласточкина О.В.	134
Коновалова Л.Н.	169	Лебедев В.Г.	129
Кононенко Н.В.	125	Лебедева Т.Н.	129
Коптелова Е.Н.	164	Лемешева В.С.	102
Копылова Н.А.	114	Лобанова И.Е.	209
Копытько Я.Ф.	190	Лоскутникова В.А.	128
Корбозова Н.К.	159	Лукашов Р.И.	208
Корженевский М.А.	141	Луцкий Е.О.	82, 137
Коржова М.А.	141	Лучинин Г.А.	103
Королева Е.Ф.	191	Лысенко А.Г.	29
Корулькин Д.Ю.	18, 54, 206, 207	<b>М</b>	
Корытько Л.А.	139	Маврина П.О.	212
Косолапов Н.В.	28	Мазалецкая Л.И.	30, 46
Костикова В.А.	192	Мазуркова Н.А.	209
Костина О.Н.	111	Макаревич С. Л.	55
Косторная Д.Р.	28	Макарова Л.Е.	131
Кочетов А.П.	81	Макеева И.Ю.	130
Кочиева Е.З.	165	Малева М.Г.	91, 123, 132
Кошель Г.Н.	25	Малюкова Л.С.	99
Красикова А.А.	118	Мамаджонова М.Ю.	133
Красковский А.Н.	139, 153	Мамедова В.Э.	24
Красюк Е.В.	148	Маринеску М.Ф.	198
Крикунова Н.И.	22	Мартыненко Е.В.	121
Кроль О.В.	51	Мартынова Ю.З.	31
Кроль Т.А.	69, 119	Масленникова Д.Р.	134
Крылова Е.А.	120	Матиенко Л.И.	32
Крылова И.В.	193		

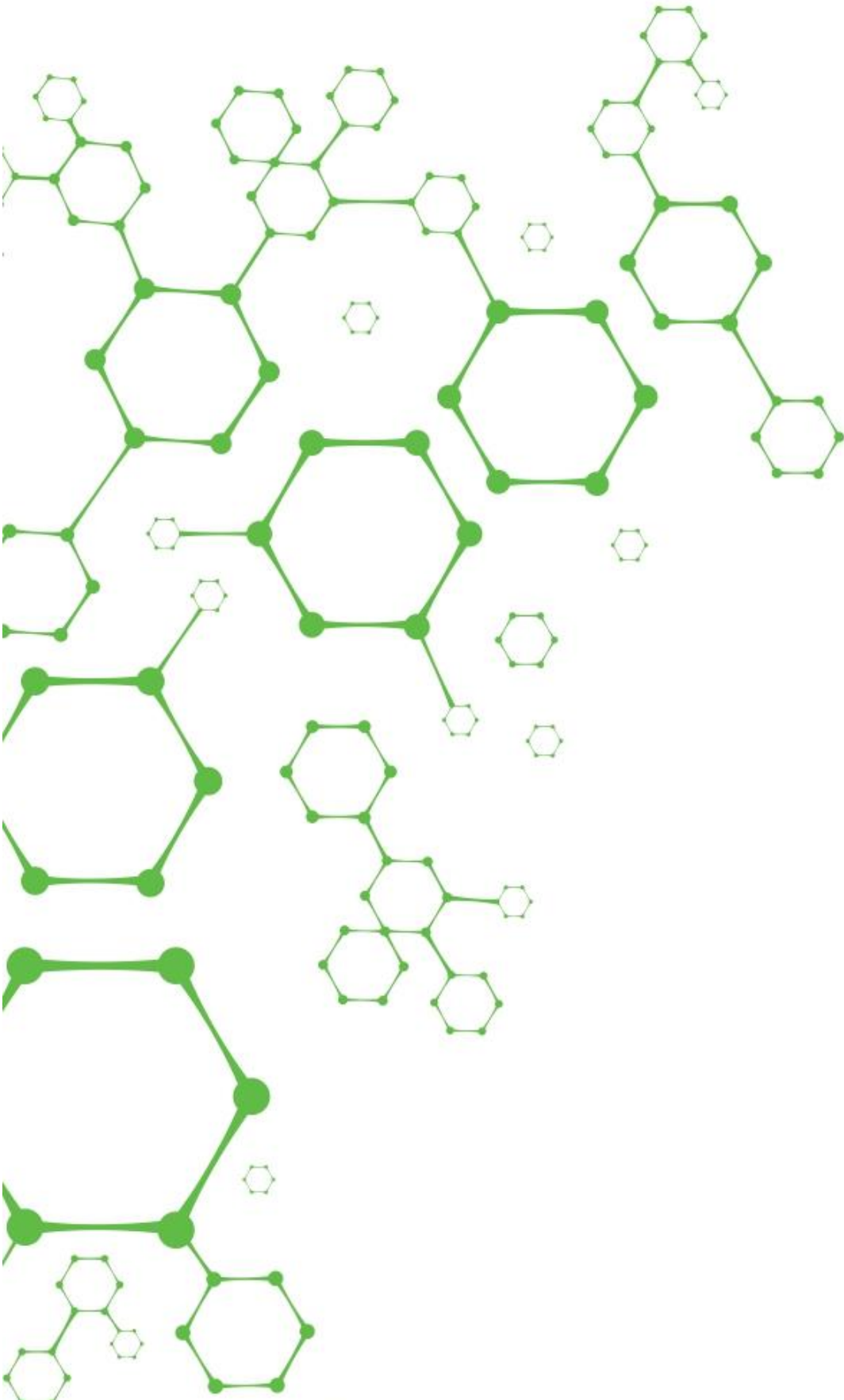
Матросова Н.В.	199	Осипенко Э.Ю.	220
Матчанов А.Д.	72, 149	Осипов В.И.	69, 119, 145, 205
Матющенко Н.В.	135	Осипова А.Д.	34, 35
Мелконян К.И.	58, 65	Осипова В.П.	27, 34, 35
Мельникова Е.В.	139	Осканов Б.С.	206, 207
Меньщикова Е.Б.	37, 42	<b>П</b>	
Мертвищева М.Е.	77, 138, 162	Павленко С.В.	199
Мешалкина Д.А.	144	Палий А.Е.	146
Мизина П.Г.	205	Палий И.Н.	146
Миль Е.М.	32	Панищева Д.В.	138, 147
Минибаева Ф.В.	9, 150	Пасечная Е.Л.	65
Минкина Ю.В.	96	Перова И.Б.	129, 217
Митина Г.В.	104	Петрова А.Д.	162
Митрофанов Д.В.	200	Петрук А.А.	110
Михайлова А.С.	120	Петрухина В.Н.	28
Мишко А.Е.	137	Петрухина Н.А.	130
Момот Т.В.	201	Пименов Ю.Т.	27
Морозов С.В.	86	Письменская Н.Д.	58, 65
Морозов Ю.А.	202	Платонова Н.Б.	75
Мостякова А.А.	83	Плащина И.Г.	46
Мотылева С.М.	77, 138, 147, 162	Повыдыш М.Н.	144, 156, 208
Мошников С.А.	141	Половинкина М.А.	34, 35
Мощенская Ю.Л.	141	Понкратова А.О.	208
Мубинов А.Р.	203	Попов А.Д.	158
Муравник Л.Е.	111	Поткин В.И.	184
Мустафин А.Г.	31	Правдивцева О.Е.	181
Муханова М.В.	172	Прищепчик Ю.В.	90
<b>Н</b>		Пронина Д.А.	153
Набиева А.Ю.	110	Проценко М.А.	209
Неврова О.В.	33, 85	Пузина Т.И.	130
Недведь Е.Л.	139, 143	Пунгин А.В.	128
Неуструева Л.В.	216	Пупыкина К.А.	148, 191, 224
Нехорошев С.В.	60	Пчелинцева Н.В.	34
Нечаева Т.Л.	70, 99, 125, 140	<b>Р</b>	
Никерова К.М.	141	Радимич А.И.	212
Николаева В.В.	28	Раимова К.В.	149
Николаева О.Г.	21	Рассабина А.Е.	150
Николаева Т.Н.	125	Режепов К.Ж.	225
Николайчук В.В.	143	Романова А.Г.	199
Никонова Н.Н.	64	Ромах Л.П.	42
<b>О</b>		Ромашкин И.В.	141
Облучинская Е.Д.	204	Рубаева А.А.	170, 171
Овсянникова М.Н.	16	Рубцов М.В.	13
Овчинников И.А.	143	Рудиковская Е.Г.	151
Огородникова С.Ю.	117	Рудиковский А.В.	151
Октябрьский О.Н.	214	Рукавцова Е.Б.	152
Олехнович Л.С.	169	Русинова Т.В.	58, 65
Омонтурдиев С.З.	225	Ручкина А.Г.	95
Орлова А.А.	61, 93, 144, 208	Рыбин Д.А.	127
Орлова К.И.	29	Рыбинская Е.И.	139, 153

Рыжакова А.В.	16	Тараскин В.В.	163
Рязанова Т.К.	59	Тараховская Е.Р.	102
<b>С</b>		Тарелкина Т.В.	141
Сабутова А.Б.	60	Тарлачков С.В.	152
Савватеев А.М.	63	Терлецкая Н.В.	159
Саввин П.Н.	13	Тертышная Ю.В.	23
Савельева А.Е.	210	Тетьяников Н.В.	138
Савина С.М.	90	Тимофеева О.А.	83
Савченко О.М.	211	Титов А.Ф.	171
Сагарейшвили Т.Г.	71	Товстик Е.В.	103
Сайбель О.Л.	212	Тоцкий И.В.	172
Саласина Я.Ю.	57, 80, 154, 213	Третьяков С.И.	164
Самойлова З.Ю.	214	Трипти	123
Самсонова Н.А.	12	Трифопова П.В.	221
Саханов В.В.	215	Тугбаева А.С.	160
Семенова Л.И.	141	Тумаева Т.А.	162
Семенцов А.С.	42	Тухбатуллина Р.Г.	221
Семенюта А.А.	220	<b>У</b>	
Семушкина А.Ю.	216	Удалова Ж.В.	98
Серкова А.А.	141	Упадышев М.Т.	162
Серых А.Е.	37	Упадышева Г.Ю.	162
Сиддиков Г.У.	68	Урбагарова Б.М.	163
Сидорова Ю.С.	217	Уэйли А.К.	208
Силинская С.А.	61, 93	<b>Ф</b>	
Скрипова Н.Н.	64, 87, 158	Фалёва А.В.	164
Скрыпников Н.С.	80, 154	Фархутдинов Р.Г.	191
Смирнов А.А.	105, 155	Фатеенкова О.В.	63
Смирнова А.Н.	38, 46	Федорова И.В.	40
Смирнова Г.В.	214	Фенин А.А.	28, 29, 43
Соболева А.В.	61, 156	Фершалова Т.Д.	110
Сокорнова С.В.	104	Фесенко А.Н.	188
Соловьева А.Е.	122	Филимонова Е.И.	91
Сорокань А.В.	173	Филиппова Е.И.	209
Софронова И.Н.	141	Филюшин М.А.	165
Спрыгин В.Г.	218	Фокина А.И.	183
Ставицкая З.О.	151	Фоменко С.Е.	222
Старовойтова М.О.	62	Фролов А.А.	61, 93, 144, 156, 158
Старцева Л.В.	224	Фролов А.С.	25
Стахеева Т.С.	140	Фролова Н.В.	61
Степанова Д.В.	157	<b>Х</b>	
Степченкова Е. И.	102	Хабибрахманова В.Р.	109, 150
Стюарт Д.	172	Хазиева Ф.М.	145
Сундырева М.А.	82, 137	Хайруллина А.Р.	223, 31
Сурин А.К.	81	Халиуллина А.С.	223
Сутиашвили М.Г.	71	Ханссон М.	172
Сухих С.А.	156, 158	Харитонов В.А.	141
Сухов Б.Г.	39	Хасанов Ф.К.	98
Суховеева С.В.	105	Хассан Г.О.О.	109
<b>Т</b>		Хвиюзов С.С.	12, 118
Танашкина Т.В.	220		

Хлесткина Е.К.	86, 93, 172	<b>Щ</b>	
Холопцева Е.С.	101	Щенникова А.В.	165
Храмова Е.П.	166, 209	<b>Э</b>	
Храпов С.Е.	42	Эсанов Р.С.	72
Храпова М.В.	37, 42	<b>Ю</b>	
Хуршкайнен Т.В.	64	Юдина Р.С.	172
<b>Ц</b>		Юзихин О.С.	104
Цветков В.О.	173	<b>Я</b>	
Цветкова Е.В.	144	Ягольник Е.А.	47
Цивилева О.М.	167	Якубова Н.Х.	225
Цыбулько Н.С.	211	Яруллина Л.Г.	173
Цыгурина К.А.	58, 65	Яшин А.Я.	226
Цыпурская Е.В.	168	Яшин Я.И.	226
<b>Ч</b>		<b>А</b>	
Чайковская О.Н.	14, 17	Alimbayeva Sh.B.	36
Чеботарь В.К.	77	Amiranashvili L.	176
Черевацкая М.А.	61, 156	Aubakirova A.S.	50
Черепанова Е.А.	173	Aygun Taghiyeva	219
Черняк Е.И.	86	Aytaj Gasimova	84
Чигорина Т.М.	44	<b>В</b>	
Чирва О.В.	141	Babenko A.N.	175
Чирикова Н.К.	186	Bakhtiyor Rasulev	26
Чуб С.К.	66	Barbakadze V.	176
Чукина Н.В.	91, 132	Beria Özçakır	219
Чукичева И.Ю.	19, 40	Birsen Atlı	84
<b>Ш</b>		Borovaya S.A.	116
Шагинова Л.О.	193	Borovkova M.V.	175
Шайдуллина Г.Г.	148	Borozan P.	112
Шакирова Д.Х.	223	<b>С</b>	
Шакирова Ф.М.	134	Caus M.	112
Шалашвили К.Г.	71	Chaikina E.L.	116
Шамсутдинова С.Р.	224	Chingizova E.A.	116
Шапошников А.И.	104	<b>Д</b>	
Шатерников А.Н.	167	Dascalıuc A.	112
Швыдкий В.О.	38, 46	<b>Е</b>	
Шевченко О.Г.	19, 40	Elisovetcaia D.S.	100
Шелепова О.В.	169	<b>Г</b>	
Шелудченко Н.И.	30	Gogilashvili L.	176
Шерудило Е.Г.	170, 171	<b>И</b>	
Шестибратов К.А.	81, 129	Ivanova R. A.	100
Шибаета Т.Г.	170, 171	<b>Ж</b>	
Широкова Л.Н.	45	Jamshid Kayumov	26
Ширяев Г.И.	123	<b>К</b>	
Шишкина Л.Н.	30, 38, 46	Khlestkina E.K.	136
Шмаков Н.А.	86	Khurramova F.N.	41
Шоева О.Ю.	86, 172	Klykov A.G.	116
Шпакова В.С.	208	Krepkova L.V.	175, 197
Шугаев А.Г.	79	Kuzina O.S.	197
Шугаева Н.А.	79	<b>Л</b>	
		Lemyaseva S.V.	197

---

<b>M</b>		<b>S</b>	
Matchanov A.D.	41	Sardor Narzullaev	26
Mehlika Alper	84	Solih Maulyanov	185
Mehmet Özgür Atay	142	Strygina K.V.	136
Merlani M.	176	<b>T</b>	
Mikhailova A.S.	136	Timoshinova O.A.	116
Mücahit Seçme	161	Tolibjon Egamberdiyev	185
Murat Turan	161	<b>U</b>	
Murugova G.A.	116	Usmanov Durbek	26, 185
<b>O</b>		<b>Z</b>	
Olcay Ceylan	142	Zhusupova G.Ye.	50
<b>R</b>		Zulayho Smanova	26
Ramazan Mammadov	142, 219		
Rasulev Bakhtiyor	185		
Rezhepov K.Zh.	36		



 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 35

 [www.ippras.ru](http://www.ippras.ru)

 [ifr@ippras.ru](mailto:ifr@ippras.ru)

 +7 (499) 678-54-00

 +7 (499) 678-54-20